



TUGAS AKHIR - RE 141581

**STUDI KOMPARASI PERAN *BIOBASED*
SURFACTANT DARI KOMPOS DENGAN
COMMERCIAL SURFACTANT DALAM
PEMISAHAN HIDROKARBON PADA TANAH
TERKONTAMINASI *CRUDE OIL***

DWIYANTI AGUSTINA WULANDARI
3313 100 029

Dosen Pembimbing
Prof. Dr. Yulinah Trihadiningrum, M.App.Sc.

DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2017

“Halaman ini sengaja dikosongkan”



TUGAS AKHIR - RE 141581

**STUDI KOMPARASI PERAN *BIOBASED*
SURFACTANT DARI KOMPOS DENGAN
COMMERCIAL SURFACTANT DALAM
PEMISAHAN HIDROKARBON PADA TANAH
TERKONTAMINASI *CRUDE OIL***

DWIYANTI AGUSTINA WULANDARI
3313 100 029

Dosen Pembimbing
Prof. Dr. Yulinah Trihadiningrum, M.App.Sc.

DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2017

“Halaman ini sengaja dikosongkan”



FINAL PROJECT - RE 141581

***COMPARISON STUDY OF BIOBASED
SURFACTANT ROLE FROM COMPOST WITH
COMMERCIAL SURFACTANT IN
HYDROCARBON SEPARATION OF CRUDE OIL
CONTAMINATED SOIL***

**DWIYANTI AGUSTINA WULANDARI
3313 100 029**

Supervisor
Prof. Dr. Yulinah Trihadiningrum, M.App.Sc.

**DEPARTMENT OF ENVIRONMENTAL ENGINEERING
Faculty of Civil Engineering and Planning
Institute of Technology Sepuluh Nopember
Surabaya 2017**

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

LEMBAR PENGESAHAN

STUDI KOMPARASI PERAN *BIOBASED SURFACTANT* DARI KOMPOS DENGAN *COMMERCIAL SURFACTANT* DALAM PEMISAHAN HIDROKARBON PADA TANAH TERKONTAMINASI *CRUDE OIL*

TUGAS AKHIR

Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh Gelar
Sarjana Teknik
pada
Program Studi S-1 Departemen Teknik Lingkungan
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

DWIYANTI AGUSTINA WULANDARI
NRP. 3313 100 029

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir:



Prof. Dr. Yulinah Trihadiningrum, M.App.Sc.,
NIP. 19530706 198403 2 004

**SURABAYA,
JULI 2017**



“Halaman ini sengaja dikosongkan”

STUDI KOMPARASI PERAN *BIOBASED SURFACTANT* DARI KOMPOS DENGAN *COMMERCIAL SURFACTANT* DALAM PEMISAHAN HIDROKARBON PADA TANAH TERKONTAMINASI *CRUDE OIL*

Mahasiswa : Dwiyanti Agustina Wulandari
NRP : 3313100029
Departemen : Teknik Lingkungan
Dosen Pembimbing : Prof. Dr. Yulinah Trihadiningrum,
M.App.Sc

ABSTRAK

Tanah terkontaminasi hidrokarbon membutuhkan remediasi karena sifat hidrokarbon yang sulit diuraikan dan bersifat toksik. Salah satu teknik bioremediasi untuk penyisihan hidrokarbon pada tanah tercemar adalah *co-composting*. Kompos dapat berperan sebagai sumber *biobased surfactant*. *Compost humic acid-like* (cHAL) yang memiliki sifat mirip surfaktan komersial dapat terbentuk selama proses *co-composting*. Tujuan penelitian ini yaitu: (a) menentukan karakteristik cHAL yang terbentuk selama proses *co-composting* tanah terkontaminasi *crude oil*, (b) menentukan kemampuan cHAL sebagai *biobased surfactant* dalam pemisahan hidrokarbon, serta (c) menentukan perbandingan cHAL dengan surfaktan komersial pada bioremediasi tanah tercemar *crude oil*.

Penelitian berskala laboratorium ini dilaksanakan dengan menggunakan 42 reaktor bervolume 3,5 L. Variasi yang digunakan adalah sumber dan konsentrasi surfaktan. Jenis sampah organik *biodegradable* yang digunakan yaitu sampah kebun dan sampah rumen dari Rumah Pemotongan Hewan. Rasio optimum tanah tercemar dan sampah organik *biodegradable* dari penelitian sebelumnya adalah 50:50 (b/b). Proses *co-composting* dilakukan secara aerobik dengan pengadukan manual setiap 3 hari sekali. Kemampuan emulsifikasi dan memisahkan hidrokarbon setiap isolat cHAL dibandingkan terhadap surfaktan komersial Tween 80. Kadar hidrokarbon, tegangan permukaan, kemampuan emulsifikasi, kandungan asam humat dan kemampuan pemisahan hidrokarbon diukur pada hari ke: 20, 40, dan 60. Kadar hidrokarbon diukur dengan metode ekstraksi *soxhlet*. Tegangan permukaan

diukur dengan alat Tensiometer Du-Nouy, sedangkan kemampuan emulsifikasi diukur dengan alat *vortex mixer*. Kandungan asam humat ditentukan dengan metode ekstraksi asam basa. Kemampuan pemisahan hidrokarbon ditentukan dengan *soil washing* menggunakan metode agitasi. Penelitian dilakukan dengan 2 ulangan.

Kadar cHAL hasil komposting pada semua reaktor ada pada kisaran 0,372-1,117%. Penurunan tegangan permukaan berkisar 6,65-21,5 dyne/cm. Isolat cHAL dapat dikategorikan sebagai surfaktan, apabila dapat menurunkan tegangan permukaan lebih dari 10 dyne/cm. Aktivitas emulsi cHAL setelah 24 jam berada pada rentang 7,4–38,1%. Proses *soil washing* menggunakan cHAL menghasilkan pemisahan hidrokarbon sebesar 0,99–46,56%. Pemisahan hidrokarbon optimum oleh isolat cHAL sebesar 46,56%; 41,55%; 39,61%; 7,62%, masing-masing dicapai pada reaktor sampah kebun, campuran sampah dan tanah tercemar, sampah rumen, serta tanah tercemar (kontrol). Tween 80 mampu memisahkan 75,97% hidrokarbon pada kadar optimum 1,5%. Kemampuan pemisahan hidrokarbon optimum oleh isolat cHAL dari reaktor sampah kebun, sampah rumen, campuran tanah tercemar dan sampah, serta tanah tercemar (kontrol) masing-masing sebesar 0,60; 0,54; 0,51, dan 0,01 kali bila dibandingkan dengan Tween 80 pada kadar 1,5%. Kemampuan isolat cHAL dari reaktor sampah kebun, campuran tanah tercemar dan sampah, sampah rumen sapi serta tanah tercemar (kontrol) untuk memisahkan hidrokarbon masing-masing setara dengan kadar Tween 80 sebesar 0,98%; 0,87%, 0,83%, dan 0,106%. Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa isolat cHAL yang terbentuk selama proses *co-composting* memiliki karakteristik dan potensi sebagai surfaktan.

Kata kunci: *biobased surfactant*, *co-composting*, *cHAL*, emulsifikasi, hidrokarbon

COMPARISON STUDY OF BIOBASED SURFACTANT ROLE FROM COMPOST WITH COMMERCIAL SURFACTANT IN HYDROCARBON SEPARATION OF CRUDE OIL CONTAMINATED SOIL

Student Name : Dwiyanti Agustina Wulandari
ID : 3313100029
Department : Environmental Engineering
Supervisor : Prof. Dr. Yulinah Trihadiningrum,
M.App.Sc

ABSTRACT

Crude oil contaminated soil needs remediation, because of the toxic and persistent characteristics of hydrocarbons. One of the bioremediation techniques for hydrocarbon removal is co-composting. Compost can play a role as biobased surfactant source. Compost humic acid like (cHAL) compounds, which can be formed during the co-composting process, have similar characteristics to commercial surfactant. The aims of this research were: (a) to determine the characteristics of cHAL, which was form during the co-composting process, (b) to determine cHAL's performance as a biobased surfactant in hydrocarbon separation, and (c) to determine the ratio between cHAL and commercial surfactant for bioremediation process of crude oil contaminated-soil.

This laboratory scale research used 42 reactors of 3.5 L volume. Surfactant sources and concentrations were varied during the experiment. Yard waste and rumen waste from a slaughterhouse were used as composting materials. An optimum ratio of contaminated soil and composting materials of 50:50 (w/w), as resulted in a former research, was used. Co-composting process was conducted in aerobic condition with manual agitation every 3 days. Characteristics of cHAL isolates from each reactor were compared to those of Tween 80, a commercial surfactant. Hydrocarbon content, surface tension, emulsification ability, humic acid content, and hydrocarbon removal were measured on 20th, 40th, and 60th days. Hydrocarbon content was measured using soxhlet extraction method. Surface tension was measured using Tensiometer Du-Nouy device, whereas and emulsification

performance was determined using vortex mixer. Humic acid content was measured using acid-base extraction method. Hydrocarbon removal was measured using agitated soil washing method. The experiment was conducted in two replicates.

The cHAL contents in the composting materials in all reactors were in a value range of 0.372–1.117%. The declining surface tension was in the range of 6.65 – 21.5 dyne/cm. The cHAL isolates could be classified as surfactant, if the declining surface tension was more than 10 dyne/cm. The emulsification performance of cHAL after 24 hours was in the range 7.4–38.1%. The soil washing using cHAL isolates resulted in hydrocarbon separation efficiency between 0.99 and 46.56%. The optimum hydrocarbon separation by cHAL isolates from the yard waste, rumen waste, combined contaminated soil and biodegradable waste, and contaminated soil control reactors were 46.56; 41.55; 39.61 and 7.62% respectively. Tween 80 could separate 75.97% of hydrocarbon in an optimum concentration of 1.5%. The optimum hydrocarbon separation ability by cHAL isolates from the yard waste, rumen waste, combined contaminated soil and biodegradable waste, and contaminated soil control reactors were 0.60; 0.54; 0.50; and 0.01 times respectively, when compared to that of Tween 80 of 1.5%. The performance values of cHAL isolates to separate hydrocarbon in the yard waste, combined contaminated soil and biodegradable waste, rumen waste, and contaminated soil control reactors were equal to 0.98; 0.87; 0.83; and 0.106% of Tween 80 concentrations respectively. This research concluded that the cHAL isolates, which were produced during the co-composting process, showed characteristics and performance potential as surfactant.

Keyword: biobased surfactant, co-composting, cHAL, emulsification, hydrocarbon

KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur Hamdallah bagi Allah SWT karena atas limpahan rahmat dan ridho-Nya dan juga utusan-Nya, yaitu Rasulullah SAW sehingga penyusun dapat menyelesaikan tugas akhir dengan judul “Studi Komparasi Peran *Biobased Surfactant* dari Kompos dengan *Commercial Surfactant* dalam Pemisahan Hidrokarbon Pada Tanah Tercemar *Crude Oil*”.

Dalam laporan tugas akhir ini penulis mengucapkan terima kasih, atas segala bentuk dukungan yang telah diberikan hingga terselesaikannya laporan tugas akhir ini kepada,

1. Ibu Prof. Dr. Yulinah Trihadiningrum, M. App.Sc. selaku dosen pembimbing tugas akhir, terima kasih atas kesediaan, kesabaran, bimbingan dan ilmu yang bermanfaat dalam penyusunan tugas akhir ini.
2. Ibu IDAA Warmadewanthi, ST., M.T., Ph.D., Bapak Dr. Ali Masduqi, MT., Bapak Arseto Yekti Bagastyo, ST., M.T., M.Phil., Ph.D, Ibu Ipung Fitri Purwanti, ST., MT., PhD. selaku dan Ibu Ellina S. Pandebesie, selaku dosen pengarah dan penguji tugas akhir, terima kasih atas saran, arahan serta bimbingannya.
3. Bapak Alfian Purnomo, ST., M.T. selaku Dosen Wali yang telah membimbing dan mengarahkan penulis selama masa perkuliahan.
4. Bapak Adhi Yuniarto ST, MT, Ph.D selaku Ketua Departemen Teknik Lingkungan, FTSP, ITS yang telah banyak membantu kelancaran dalam pembuatan Laporan Tugas Akhir.
5. Ibu Harmin Sulistyaningtitah, ST, MT, Ph.D selaku koordinator tugas akhir, terima kasih atas informasi, arahan dan saran dalam penyusunan tugas akhir ini.
6. Bapak Hadi Sutrisno dan tendik laboratorium Jurusan Teknik Lingkungan lainnya serta Mbak Nastiti Tri Karuniawati, S.Si dan tim analisis Laboratorium Terpadu Universitas Airlangga yang telah membantu dan memfasilitasi penelitian di laboratorium.
7. Kak Gina Lova Sari ST., M.T., terima kasih atas izin bagi penulis untuk berpartisipasi dalam penelitiannya, dan kesabaran, bimbingan dan arahan selama penelitian.

8. Mbak Rizkiy Amaliyah Barakwan, ST., dan Mas Suhendra Amka, ST. atas kerja sama, dukungan dan *sharing* ilmu sebagai satu tim penelitian.
9. Keluarga tercinta baik ayah, ibu, kakak dan adik yang selalu memberikan dukungan moral dan material terkhusus atas ketulusan doa yang mengiringi setiap waktu.
10. Teman-teman Teknik Lingkungan ITS angkatan 2013 dan teman-teman lainnya yang tidak dapat disebutkan satu persatu, atas dukungan dan kebersamaan dalam berjuang.

Dalam proses penyusunan tugas akhir ini telah dilakukan dan diusahakan semaksimal mungkin, namun tentunya masih terdapat kekurangan dan jauh dari kesempurnaan. Oleh karena itu penulis mengharapkan kritik dan saran yang mampu membangun menjadi lebih baik lagi. Semoga tugas akhir ini senantiasa memberikan manfaat bagi penyusun dan pembaca.

Surabaya, 25 Juli 2017

Penulis

DAFTAR ISI

ABSTRAK	i
ABSTRACT.....	iii
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR TABEL.....	xi
DAFTAR GAMBAR.....	xiii
DAFTAR LAMPIRAN.....	xv
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan	4
1.4 Ruang Lingkup	4
1.5 Manfaat	5
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	7
2.1 Senyawa Hidrokarbon	7
2.1.1 Jenis dan Karakteristik Senyawa Hidrokarbon	7
2.1.2 Kasus Pencemaran Hidrokarbon dalam Tanah	9
2.1.3 Mekanisme Pencemaran Hidrokarbon dalam Tanah ..	10
2.1.4 Penyisihan Hidrokarbon Tanah Tercemar <i>Crude Oil</i> ...	11
2.2 Teknik Remediasi dengan Metode <i>Co-composting</i>	12
2.2.1 Macam Metode <i>Co-composting</i>	13
2.2.2 Penguraian Hidrokarbon dengan <i>Co-composting</i>	15
2.3 <i>Biobased Surfactant</i>	18
2.4 Parameter Pengukuran <i>Surfactant</i>	20
2.4.1 Tegangan Permukaan.....	20
2.4.2 Kemampuan Emulsifikasi.....	21
2.5 <i>Compost Humic Acid-Like</i> (cHAL).....	22
2.5.1 Kompos	22
2.5.2 <i>Humic Acid</i> Sebagai Asam Organik.....	24
2.5.3 Struktur dan Karakteristik <i>Humic Acid</i>	25
2.5.4 Pemisahan <i>Humic Acid</i>	26
2.5.5 Peran Asam Humat dalam Pemisahan Kontaminan Tanah ..	28
2.6 Tween 80.....	30
2.6.1 Struktur dan Sumber	30
2.6.2 Aplikasi Tween 80 dalam Pemisahan Hidrokarbon	31
2.7 <i>Soil Washing</i>	31
2.7.1 Pengertian	31
2.7.2 Aplikasi Remediasi Tanah Tercemar	32

2.8 Spektrofotometri FTIR	32
2.9 Penelitian Terdahulu.....	34
2.10 Pertambangan Minyak Bumi Wonocolo, Bojonegoro.....	38
2.11 Penelitian Pendahuluan	39
2.11.1 Preparasi Bahan <i>Co-Composting</i>	39
2.11.2 Pelaksanaan <i>Co-Composting</i>	41
2.11.3 Komposisi Optimum <i>Co-composting</i>	44
BAB 3 METODE PENELITIAN	45
3.1 Kerangka Penelitian	45
3.2 Tahapan Penelitian.....	48
3.2.1 Ide Penelitian.....	48
3.2.2 Studi Literatur	48
3.2.3 Persiapan Alat dan Bahan	48
3.2.4 Sampling Tanah Tercemar Crude Oil	49
3.2.5 Analisis Pendahuluan.....	54
3.2.6 Pelaksanaan Penelitian.....	54
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN	63
4.1 Karktersistik Sampel Tanah Tercemar <i>Crude Oil</i>	63
4.1.1 Karakteristik Fisik	63
4.1.2 Karakteristik Kimia.....	64
4.2 Peran cHAL dalam Pemisahan Hidrokarbon	65
4.3 Preparasi dan Ekstraksi cHAL.....	65
4.4 Karakterisasi cHAL	69
4.4.1 Karakteristik cHAL Sumber Tanah tercemar.....	71
4.4.2 Karakteristik cHAL Sumber Sampah Kebun	73
4.4.3 Karakteristik cHAL Sumber Sampah Rumen Sapi.....	77
4.4.4 Karakteristik cHAL Sumber Rasio Optimum	80
4.4.5 Karakteristik Tween 80.....	83
4.4.6 Komparasi Karakteristik cHAL dengan Tween 80	84
4.5 Kemampuan Pemisahan Hidrokarbon oleh <i>Surfactant</i>	86
4.5.1 <i>Soil Washing</i> oleh Variasi Sumber cHAL	86
4.5.2 <i>Soil Washing</i> oleh Variasi Konsentrasi Tween 80	98
4.6 Uji Statistik ANOVA Hasil Penelitian	104
BAB 5 PENUTUP	107
5.1 Kesimpulan	107
5.2 Saran	108
DAFTAR PUSTAKA.....	109
LAMPIRAN A	121
LAMPIRAN B	133

LAMPIRAN C	149
LAMPIRAN D	151
BIODATA PENULIS.....	153

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Penelitian Terdahulu cHAL.....	35
Tabel 2. 2 Kandungan Hidrokarbon pada Tanah Tercemar.....	40
Tabel 2. 3 Karakteristik Komposit Tanah Tercemar <i>Crude Oil</i>	40
Tabel 2. 4 Karakteristik Sampah Organik <i>Biodegradable</i>	41
Tabel 3. 1 Variasi Sumber cHAL dan Konsentrasi <i>Surfactant</i>	55
Tabel 3. 2 Metode Analisis Parameter Penelitian.....	57
Tabel 3. 3 Metode Analisis Penelitian.....	60
Tabel 4. 1 Analisis Parameter Kimia Tanah Tercemar.....	64
Tabel 4. 2 Perbandingan Warna HS, AF dan cHAL.....	67
Tabel 4. 3 Komparasi Δ TP cHAL dan Tween 80.....	85
Tabel 4. 4 Komparasi AE cHAL dan Tween 80.....	85
Tabel 4. 5 Komparasi Pemisahan Hidrokarbon Optimum cHAL.	91
Tabel 4. 6 Gugus Fungsi Hasil FTIR.....	92
Tabel 4. 7 Tabel Estimasi Konsentrasi Tween 80.....	102

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Teknologi <i>Co-composting</i> Pengolahan <i>Sludge</i>	13
Gambar 2. 2 Windrow System Composting	14
Gambar 2. 3 Degradasi Hidrokarbon Alifatik hingga β -oksidasi .	16
Gambar 2. 4 Sistem Transport Elektron	16
Gambar 2. 5 Siklus Krebs.....	17
Gambar 2. 6 Struktur <i>Humic Acid</i>	26
Gambar 2. 7 Ilustrasi Struktur <i>Humic Acid</i>	26
Gambar 2. 8 Diagram Alur Pemisahan Senyawa Humat	28
Gambar 2. 9 Rumus Bangun Tween 80	30
Gambar 2. 10 Pertambangan Minyak Bumi Rakyat Wonocolo ...	38
Gambar 2. 11 Kandungan Hidrokarbon pada Variasi 50:50	42
Gambar 2. 12 Kandungan Hidrokarbon Variasi 87:13	43
Gambar 2. 13 Kandungan Hidrokarbon pada Variasi 75:25	43
Gambar 2. 14 Kandungan Hidrokarbon pada Tanah Kontrol.....	44
Gambar 3. 1 Ilustrasi Sampling Pola Diagonal.....	50
Gambar 3.2 Ilustrasi Sampling <i>Along A Linear Source</i>	51
Gambar 3. 3 Peta Lokasi Pengambilan Sampel Tanah	52
Gambar 3. 4 Ilustrasi Agitasi Pada Proses <i>Soil Washing</i>	59
Gambar 4. 1 Sampel Tanah Tercemar Crude Oil	63
Gambar 4. 2 HA, AF dan HS Sampel Perbandingan Optimum ..	68
Gambar 4. 5 Kandungan cHAL T/S Hari ke-0, 20,40,	69
Gambar 4. 7 Emulsi Sampel Perbandingan Optimum (T/S)	71
Gambar 4. 9 Tanah dan cHAL Sebelum <i>Soil Washing</i>	87
Gambar 4. 10 Suspensi Hasil <i>Soil Washing</i>	87
Gambar 4. 11 Lapisan Setelah Stabilisasi Hasil <i>Soil Washing</i> ...	88
Gambar 4. 12 Filtrat Penyaringan Hasil <i>Soil Washing</i>	89

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR LAMPIRAN

LAMPIRAN A PROSEDUR ANALISIS	125
Analisis Hidrokarbon	125
Metode Ekstraksi cHAL	126
Analisis Tegangan Permukaan	131
Analisis Kemampuan Emulsifikasi.....	133
Metode <i>Soil Washing</i>	134
LAMPIRAN B DATA HASIL ANALISIS	137
Pengukuran pH Saat Ekstraksi	137
Kadar cHAL	138
Tegangan Permukaan cHAL	140
Kemampuan Emulsifikasi cHAL	141
Pemisahan Hidrokarbon <i>Soil Washing</i> oleh cHAL	142
Pemisahan Hidrokarbon <i>Soil Washing</i> oleh Tween 80	149
LAMPIRAN C SPESIFIKASI TWEEN 80	153
LAMPIRAN D DOKUMENTASI PENELITIAN	155

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Hidrokarbon adalah salah satu kontaminan paling umum yang membutuhkan remediasi karena sangat berkaitan dengan kesehatan manusia dan indikasi adanya pencemaran lingkungan (Kirk *et al.*, 2004). Kontaminan hidrokarbon pada tanah yang sulit diuraikan dan bersifat toksik akan mengganggu pertumbuhan tanaman dan organisme lain yang tumbuh di dalamnya. *Crude oil* mempunyai komponen hidrokarbon yang merupakan senyawa organik (Handrianto *et al.*, 2012). Keputusan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 128 Tahun 2003 tentang Tata Cara dan Persyaratan Teknis Pengolahan Limbah Minyak Bumi dan Tanah Terkontaminasi oleh Minyak Bumi secara Biologis, menyatakan bahwa tanah yang terkontaminasi *crude oil* termasuk dalam kategori limbah bahan berbahaya dan beracun (B3). Hal ini menyebabkan tanah tercemar *crude oil* menjadi masalah lingkungan yang hingga saat ini selalu mendapat perhatian yang serius. Salah satu kasus kontaminasi *crude oil* yaitu di tambang rakyat Desa Wonocolo, Kecamatan Kedawan, Kabupaten Bojonegoro. Menurut Handrianto *et al.* (2012), pada tanah tercemar *crude oil* di daerah pertambangan minyak di Kabupaten Bojonegoro, Jawa Timur mengandung *total petroleum hydrocarbon* (TPH) sebesar 4,12%. Kadar TPH tersebut melebihi baku mutu yang berlaku berdasarkan Lampiran 2 Keputusan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 128 Tahun 2013 yaitu 1% (Kepmen LH, 2003).

Teknologi pemulihan kondisi tanah tercemar *crude oil* mengandung hidrokarbon yang paling dipilih yaitu secara biologis atau teknik bioremediasi. Salah satu teknik bioremediasi untuk penyisihan hidrokarbon pada tanah tercemar *crude oil* adalah teknologi *co-composting* (Wang *et al.*, 2011). *Co-composting* sebagai teknik pencampuran tanah terkontaminasi dengan bahan organik *biodegradable* untuk menambahkan nutrisi dan mendorong populasi dan aktivitas mikroorganisme yang mampu menyisihkan polutan hidrokarbon (Mizwar dan Trihadiningrum, 2016). Proses metabolisme oleh mikroorganisme saat *co-composting* mengakibatkan adanya biodegradasi hidrokarbon

(Antizar-Ladislao *et al.* 2004). *Co-composting* juga melibatkan adanya proses mineralisasi bahan organik yang menghasilkan produk *surfactant* (Straub *et al.*, 1999; Quagliotto *et al.*, 2006; Mizwar, 2016). *Surfactant* merupakan molekul amfipatik yang tersusun atas gugus hidrofilik dan hidrofobik sehingga mampu mereduksi tegangan permukaan sehingga membantu proses pemisahan hidrokarbon yang terikat oleh partikel tanah (Almansoori *et al.*, 2015; Chen *et al.*, 2015). Pemisahan hidrokarbon yang terjadi mengakibatkan hidrokarbon semakin mudah terlarut dan membentuk emulsi sehingga menjadi lebih *bioavailable* bagi mikroba, maka proses biodegradasi hidrokarbon juga lebih efektif (Thapa *et al.*, 2012; Almansoori *et al.*, 2015). *Surfactant* tersebut selanjutnya disebut sebagai *biobased surfactant* (Asquith *et al.*, 2011; Almansoori *et al.*, 2015).

Biobased surfactant terdiri dari produk alami yang didapatkan langsung dari bahan mentah tanpa adanya sintesis kimia atau modifikasi (Holmberg, 2001; Rybinski, 2001). Terdapat berbagai macam contoh pembentukan *biobased surfactant*, seperti *biosurfactant* dan *compost humic acid-like (CHAL)*. *Biosurfactant* adalah senyawa aktif permukaan ekstraselular yang disekresi sel-sel mikroba yang ditumbuhkan pada hidrokarbon tertentu, juga memungkinkan dihasilkan dari substrat lain seperti karbohidrat (Chopineau *et al.*, 1988). Leahy dan Colwell (1990), mengemukakan bahwa sebagian bakteri pendegradasi hidrokarbon diketahui memiliki kemampuan untuk memproduksi *biosurfactant*. *Pseudomonas aeruginosa* diketahui memproduksi *rhamnolipid* pada C12 n-alkana sebagai *biosurfactant* (Robert *et al.*, 1989). Ketersediaan *biosurfactant* menjadi sangat penting setelah diketahui beberapa kerugian penggunaan *synthetic surfactant*. Di samping harganya mahal, *synthetic surfactant* sebagian besar tidak mudah didegradasi dan beberapa bersifat toksik sehingga ada kemungkinan terjadinya pencemaran lingkungan akibat penggunaan senyawa ini. Selain itu Dyke (1993) mengemukakan bahwa *biosurfactant* lebih bervariasi jenisnya dan lebih efektif untuk keperluan-keperluan yang spesifik dibandingkan dengan *synthetic surfactant* atau *commercial surfactant*.

Pada proses mineralisasi bahan organik dalam *co-composting* akan menghasilkan produk akhir berupa biomassa yang lazim dikenal sebagai humus. Selama proses pembentukan

humus tersebut juga terbentuk senyawa *compost humic acid-like* (cHAL) (Avdalovic *et al.*, 2012). Proses pembentukan cHAL pada proses pengomposan mulai terbentuk pada 20 hari dan optimal pada 40 hari, sedangkan pada ke 60 hari jumlahnya menurun (Agustian dan Gusnidar, 2004). Senyawa *compost humic acid-like* (cHAL) mempunyai komposisi yang terdiri atas polimer tanaman dan fraksi hidrofilik, dimana kandungan utamanya berupa kelompok ionik seperti asam karboksilat, dan ikatan non polar seperti fenol, alkohol, aldehid, keton, *amide* dan amino. Karakteristik tersebut mengindikasikan bahwa cHAL mempunyai kelengkapan amfibiik, dan dapat berperan sebagai *biobased surfactant*. Kemampuan cHAL dalam meningkatkan kelarutan kontaminan telah teruji langsung pada media tanah. Meskipun senyawa cHAL menunjukkan perannya sebagai *biobased surfactant*, namun ide ini membutuhkan prosedur yang jelas sebagai kontrol kualitas, sertifikasi dan verifikasi (Avdalovic *et al.*, 2012). Selain itu diperlukan uji untuk menentukan perbandingan antara *biobased surfactant* dengan *commercial surfactant* yang lazim digunakan dalam pemisahan hidrokarbon dari tanah.

Kajian mengenai produksi cHAL serta kemampuannya sebagai *biobased surfactant* dalam membantu proses biodegradasi hidrokarbon selama proses *co-composting* tanah terkontaminasi *crude oil* masih belum ditemukan. Penelitian ini dilakukan untuk menentukan karakteristik tegangan permukaan dan kemampuan emulsifikasi (cHAL) yang terbentuk selama proses *co-composting* tanah tercemar *crude oil* berasal dari pertambangan minyak bumi rakyat Wonocolo, Bojonegoro serta menentukan kemampuan cHAL sebagai *biobased surfactant* dan perbandingannya dengan *commercial surfactant* dalam memisahkan hidrokarbon pada proses *co-composting* tanah terkontaminasi *crude oil*.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah yang mendasari penelitian ini adalah:

1. Bagaimana karakteristik cHAL yang terbentuk dalam 20, 40, dan 60 hari selama proses *co-composting* tanah terkontaminasi *crude oil*?

2. Bagaimana kemampuan cHAL sebagai *biobased surfactant* dalam memisahkan hidrokarbon pada proses *co-composting* tanah terkontaminasi *crude oil*?
3. Bagaimana perbandingan antara *biobased surfactant* dengan *commercial surfactant* dalam pemisahan hidrokarbon pada tanah terkontaminasi *crude oil*?

1.3 Tujuan

Tujuan yang akan dicapai dalam penelitian ini adalah:

1. Menentukan karakteristik cHAL yang terbentuk dalam 20, 40, dan 60 hari selama proses *co-composting* tanah terkontaminasi *crude oil*.
2. Menentukan kemampuan cHAL sebagai *biobased surfactant* dalam memisahkan hidrokarbon pada proses *co-composting* tanah terkontaminasi *crude oil*.
3. Menentukan perbandingan antara *biobased surfactant* dengan *commercial surfactant* dalam pemisahan hidrokarbon pada tanah terkontaminasi *crude oil*.

1.4 Ruang Lingkup

Ruang lingkup penelitian ini meliputi :

1. Penelitian ini berupa penelitian eksperimental berskala laboratorium. Rangkaian penelitian dilakukan di Laboratorium Pengelolaan Limbah Padat dan B3 Teknik Lingkungan-ITS Surabaya.
2. Sampel tanah terkontaminasi *crude oil* yang digunakan berasal dari pertambangan rakyat di Desa Wonocolo, Kabupaten Bojonegoro, Jawa Timur. Pengambilan sampel tanah terkontaminasi dilakukan pada tanah lapisan atas (*top soil*).
3. Limbah padat organik yang digunakan sebagai bahan baku pembuatan sumber cHAL yaitu sampah kebun dan rumen sapi. Sampah kebun yang digunakan berasal dari Rumah Kompos ITS. Sedangkan rumen sapi yang digunakan berasal dari Rumah Pemotongan Hewan Pegirian, Surabaya. Sampah kebun dan sampah rumen sapi digunakan sebagai variasi penghasil cHAL karena kandungan lignin yang besar.

4. Proses *co-composting* terhadap sumber cHAL dilakukan selama 60 hari dengan penambahan tanah tercemar *crude oil*.
5. Karakterisasi cHAL dilakukan berdasarkan parameter tegangan permukaan dan kemampuan emulsifikasi.
6. *Commercial surfactant* yang digunakan sebagai pembanding cHAL yaitu Tween 80.

1.5 Manfaat

Manfaat yang diharapkan dapat diperoleh dari penelitian ini adalah:

1. Memberikan informasi mengenai potensi cHAL yang selama proses *co-composting* sebagai katalisator biodegradasi hidrokarbon pada aplikasi bioremediasi tanah terkontaminasi *crude oil*.
2. Memberikan informasi mengenai potensi cHAL yang terbentuk selama proses *co-composting* sebagai *biobased surfactant*.
3. Sebagai bahan masukan bagi Pemerintah dalam menentukan kebijakan terkait upaya remediasi tanah yang terkontaminasi *crude oil*.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Senyawa Hidrokarbon

Hidrokarbon adalah salah satu kontaminan paling umum yang apabila masuk ke perairan atau tanah membutuhkan remediasi media tercemar karena sangat berkaitan dengan kesehatan manusia dan indikasi adanya pencemaran lingkungan (Kirk *et al.*, 2004). Senyawa hidrokarbon berasal dari sumber minyak bumi, termasuk bahan bakar umum seperti bensin, solar, minyak tanah, minyak pelumas, dan lemak. Meskipun hidrokarbon berupa zat organik yang hanya terdiri dari karbon dan hidrogen, namun hidrokarbon termasuk senyawa dengan jenis-jenis yang berbeda berdasarkan perbedaan jumlah rantai karbon penyusunnya sehingga mempunyai sifat kimia dan fisika yang berbeda-beda (Baldan *et al.*, 2015).

2.1.1 Jenis dan Karakteristik Senyawa Hidrokarbon

Senyawa hidrokarbon dalam *crude oil* berdasarkan kandungannya dapat diklasifikasikan sebagai hidrokarbon alifatik, sikloalkana, hidrokarbon aromatik, dan hidrokarbon poli-aromatik (Ali, 2012). Berikut merupakan penjelasan masing-masing jenisnya.

1. Senyawa Alifatik

Hidrokarbon alifatik mempunyai cincin atom karbon tersusun secara linier, bercabang, atau melingkar tertutup (alissiklik). Alifatik juga terbagi menjadi beberapa golongan, yaitu:

a. Alkana (parafin) yang memiliki ikatan atom C jenuh

Alkana adalah hidrokarbon alifatik jenuh berikatan tunggal dan stabil terhadap reaksi kimia dengan rumus empiris C_nH_{2n+2} . Alkana merupakan petroleum hidrokarbon yang sangat mudah terdegradasi. Namun alkana pada range C_5 hingga C_{10} merupakan penghambat dalam proses degradasi hidrokarbon. Pada konsentrasi tinggi, senyawa ini bersifat toksik yaitu mampu merobek membran lipid pada sel mikroorganisme.

- b. Alkena (olefin) adalah hidrokarbon alifatik tak jenuh yang memiliki minimal satu ikatan rangkap 2 dengan rumus empiris C_nH_{2n} .
 - c. Alkuna adalah hidrokarbon alifatik tak jenuh yang memiliki minimal satu ikatan rangkap 3 dengan rumus empiris C_nH_{2n-2} .
2. Senyawa Sikloalkana

Sikloalkana adalah hidrokarbon alisiklik (cincin siklis) tunggal dan banyak dengan rumus empiris C_nH_{2n} . Senyawa ini sangat stabil namun lebih reaktif daripada alkana. Sebagaimana pada senyawa alkana, semakin besar jumlah atom C semakin tinggi pula *specific gravity* (Sg) dan titik didihnya. Degradasi sikloalkana biasanya juga dioksidasi pada gugus terminal metil dan menjadi alkohol.
3. Senyawa Aromatik

Hidrokarbon aromatik terbentuk dari 1 molekul benzena dimana 6 buah atom tersusun menyerupai cincin dengan ikatan tunggal dan ganda (Eweis *et al.*, 1998). Volatilitas yang tinggi dan kelarutan yang rendah umumnya dimiliki oleh hidrokarbon aromatik ini. Kandungan hidrokarbon aromatik turut menentukan tingkat toksisitas minyak bumi. Menurut Cookson (1995), cincin benzene hidrokarbon banyak terkandung dalam hidrokarbon aromatik. Contohnya adalah benzena, toluena, etilbenzena, dan xilena yang sering disebut sebagai senyawa BTEX.

Senyawa hidrokarbon aromatik sulit didegradasi dan dapat menghasilkan senyawa *intermediate* yang tidak diinginkan. Metode dasar penyerangan mikroba pada komponen aromatik bercincin tunggal membentuk senyawa dihidrodiol. Dihidrodiol dioksidasi membentuk alkil katekol yang merupakan senyawa *intermediate*. Hasil oksidasi pemecahan cincin adalah terbentuknya aldehid serta asam yang siap digunakan mikroorganisme untuk sintesa sel dan energi.
4. Senyawa Poli Aromatik

Senyawa poli aromatik disebut juga dengan *polycyclic aromatic hydrocarbon* (PAH) yang terdiri dari

beberapa senyawa aromatik yang menyatu, misalnya naftalena, asenaftena, dan fluorena. PAH bersifat karsinogenik, semakin banyak jumlah molekul aromatik yang menyatu maka senyawa PAH ini semakin sulit terurai.

2.1.2 Kasus Pencemaran Hidrokarbon dalam Tanah

Proses pencemaran tanah adalah keadaan dimana bahan kimia alami dan/atau buatan manusia masuk dan mengubah tatanan tanah alami (Halifah, 2012). Berdasarkan Peraturan Pemerintah Nomor 150 tahun 2000 tentang Pengendalian Kerusakan Tanah untuk Produksi Biomassa, disebutkan bahwa kerusakan tanah untuk produksi biomassa adalah berubahnya sifat dasar tanah yang melampaui kriteria baku kerusakan tanah. Kegiatan eksplorasi dan eksploitasi minyak bumi yang meliputi pengeboran, produksi, pengilangan, dan transportasi berpotensi menyebabkan terjadinya pencemaran tanah. Hal ini disebabkan oleh adanya tumpahan atau ceceran dari berbagai kegiatan tersebut. Minyak bumi mempunyai komponen hidrokarbon yang merupakan senyawa organik (Handrianto *et al.*, 2012). Kontaminan hidrokarbon pada tanah yang sulit diuraikan dan bersifat toksik akan mengganggu pertumbuhan tanaman dan organisme lain yang tumbuh di dalamnya.

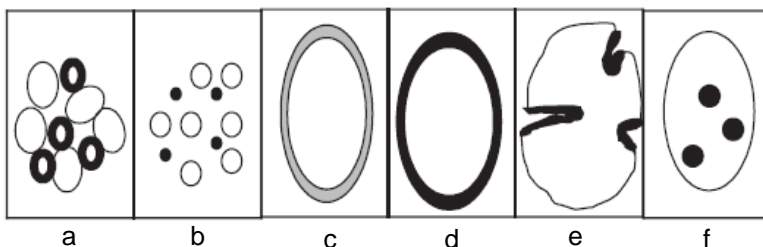
Terdapat banyak kasus pencemaran tanah oleh hidrokarbon. Salah satu contoh pencemaran tanah diungkapkan oleh Van Gestel *et al.* (2003), bahwa pencemaran tanah oleh hidrokarbon dapat disebabkan oleh tumpahan solar pada tanah saat proses produksi atau transportasi. Moretto *et al.* (2005) mengatakan tanah terkontaminasi PAH terjadi di kawasan industri Porto Marghera, Venezia, Italia. Wang *et al.* (2011) mengatakan bahwa terjadi pencemaran tanah di Delta Yellow River di Cina karena daerah tersebut adalah kawasan produksi *petroleum*. Selama bertahun-tahun terjadi kontaminasi hidrokarbon akibat *petroleum* pada tanah di tempat ini karena produksi, tumpahan, kebocoran pipa minyak, dan transportasi. Baldan *et al.* (2015) mengatakan tanah terkontaminasi hidrokarbon akibat tumpahan bahan bakar diesel secara terus-menerus dalam jangka waktu yang lama yaitu 20-25 tahun terjadi di Italia Timur bagian Utara. Pencemaran tanah oleh hidrokarbon juga terjadi di beberapa

daerah di Indonesia. Pencemaran tanah oleh hidrokarbon terjadi di sekitar tambang minyak Minas PT CPI, Riau akibat tumpahan *crude oil* saat proses pengeboran, produksi, dan transportasi (Karwati, 2009). Ali (2012) juga menyebutkan kasus pencemaran tanah akibat hidrokarbon misalnya di PT. UNILEVER Jakarta seluas 2.2 Ha, di PT. CALTEX seluas 8 Ha, kebocoran pipa minyak mentah di PT. CONNOCO PHILLIPS sepanjang 300 meter dan masih banyak kasus pencemaran lainnya. Juliani dan Rahman (2011) mengatakan pencemaran tanah oleh limbah lumpur minyak akibat kegiatan penambangan minyak bumi oleh PT Pertamina Cilacap.

2.1.3 Mekanisme Pencemaran Hidrokarbon dalam Tanah

Menurut CLAIRE (2007) pada Gambar 2.1 terdapat beberapa tipe pengikatan kontaminan pada tanah, yaitu

- kontaminan teradsorbsi, yaitu kontaminan cenderung tersorbsi pada partikel spesifik seperti tanah liat dan *peaty*
- partikel diskrit, yaitu kontaminan terbentuk dalam partikel individu
- pelapisan *liquid* atau *semi-liquid*, yaitu terdapat minyak atau tar yang melapisi bagian luar tanah
- pelapisan endapan kimia, yaitu terdapat partikel anorganik yang melapisi bagian luar partikel tanah
- pelapisan pada celah atau lubang pori, yaitu seperti (b) dan (c) namun partikel tanah berbentuk porus (berpori)
- kontaminasi internal, yaitu kontaminan berada di dalam partikel tanah.



Gambar 2. 1 Jenis Kontaminasi pada Tanah Tercemar
(CLAIRE,2007)

Kontaminasi teradsorpsi dan partikel diskrit mengilustrasikan kontaminan secara selektif mengalami sorpsi ke tipe tanah tertentu, atau berlangsung secara diskret. Tipe partikel ini umumnya dapat diolah dengan proses pemisahan fisik. Contohnya adalah banyak kontaminan organik yang lebih cenderung berikatan dengan bahan organik *peaty* pada tanah. Pada pelapisan *liquid* atau *semi-liquid* dan pelapisan endapan kimia menunjukkan kontaminan menyelimuti bagian luar partikel dan dapat dipisahkan dari bagian inti partikel yang tidak terkontaminasi dengan teknik abrasi (*attrition scrubbing*) atau disolusi kimia. Pelapisan pada celah atau lubang pori menunjukkan kontaminan yang berpenetrasi ke dalam pori material. Penghancuran partikel dibutuhkan untuk membuka bagian yang mengandung kontaminan sehingga dapat disisihkan melalui *attrition scrubbing* atau disolusi kimia. Pada kontaminasi internal, kontaminan berada di pusat sebagai bagian inti partikel. Penghancuran menyeluruh dibutuhkan untuk mengakses bagian kontaminan di pusat tersebut (CLAIRE, 2007).

2.1.4 Penyisihan Hidrokarbon Tanah Tercemar *Crude Oil*

Dalam upaya remediasi tanah tercemar hidrokarbon diperlukan teknik atau teknologi yang sesuai. Menurut Kasmidjo (1990), suatu negara maju yang telah memiliki standar kualitas lingkungan khususnya tanah, pemulihan tanah yang terkontaminasi dilakukan dengan tiga cara, yaitu:

- a. Penyimpanan tanah terkontaminasi dengan cara digali dan dibawa ke gudang penyimpanan untuk selanjutnya disimpan sementara sampai ditemukan teknik pengolahan yang tepat
- b. Teknik *ex-situ* merupakan pemisahan bahan pencemaran dari tanah atau menguraikan energi panas untuk menguapkan kontaminan dari tanah
- c. Teknik *in-situ* pengolahan tanah terkontaminasi di tempat secara biologis atau kimia

Jenis-jenis teknik pengolahan dan pemulihan tanah terkontaminasi menurut Wang *et al.* (2011) adalah sebagai berikut.

1. Komposting

Komposting didefinisikan sebagai suatu proses aerob biologis dimana padatan organik yang dioksidasi secara biologis menjadi senyawa stabil seperti humus. Konsentrasi

organik tinggi dan tingkat kelembapan dari kompos dapat menghasilkan panas yang mengawali proses biodegradasi. Suhu dalam pengoperasian komposting jarang berada dibawah suhu 55°C. Suhu yang tinggi digunakan untuk membunuh organisme patogen, selain itu juga digunakan untuk memperbaiki kondisi lingkungan untuk mendegradasi komponen yang berbahaya (Eweis *et al.*, 1998).

2. *Landfarming*

Landfarming yang disebut juga sebagai *land treatment* atau *land aplication*, merupakan teknik pemulihan yang dilaksanakan di permukaan tanah baik secara *in-situ* maupun *ex-situ*. Teknik ini merupakan metode pemulihan yang paling awal dan sederhana serta sangat umum diterapkan dalam meremediasi tanah tercemar minyak. Peralatan yang dibutuhkan sama dengan peralatan dalam pembajakan lahan pertanian.

3. *Bioaugmentasi*

Bioaugmentasi dapat diartikan sebagai suatu teknik pemulihan tanah tercemar dengan menambahkan mikroorganisme tertentu pada daerah yang akan diremediasi. Dalam beberapa hal, teknik *bioaugmentasi* juga diikuti dengan penambahan nutrisi tertentu.

4. *Biostimulasi*

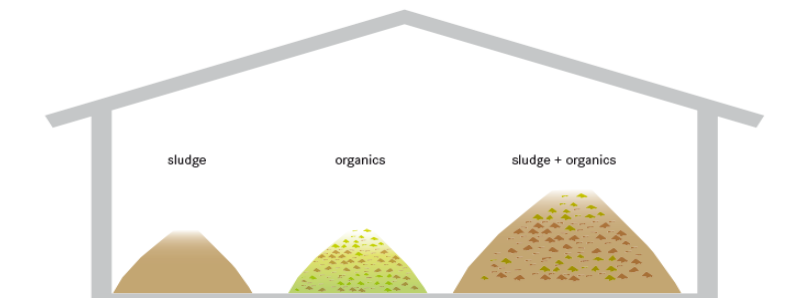
Biostimulasi adalah teknik menambahkan nutrisi tertentu dengan tujuan merangsang aktivitas mikroorganisme-mikroorganisme setempat (*indigenous*).

2.2 Teknik Remediasi dengan Metode *Co-composting*

Istilah *co-composting* tidak lepas dari pengertian komposting secara umum. Komposting adalah proses dekomposisi yang dilakukan oleh mikroorganisme terhadap sampah organik yang bersifat *biodegradable*. Pada awalnya, penggunaan teknologi komposting sebagai teknik pemulihan tanah tercemar tidak terlalu mendapat banyak perhatian. Meskipun teknologi ini aplikatif dalam memperbaiki tanah terkontaminasi senyawa organik selama beberapa tahun (Atagana, 2008). Penelitian remediasi tanah terkontaminasi dengan metode komposting banyak dilakukan pada tanah dengan konsentrasi kontaminan yang kecil. Namun berdasarkan penelitian Marin *et al.*

(2006), kompos sangat berpotensi untuk meremediasi tanah terkontaminasi dengan konsentrasi besar.

Co-composting adalah metode untuk komposting sampah organik yang diinkubasi bersama dengan tanah terkontaminasi (Van Gestel *et al.*, 2003). *Co-composting* juga didefinisikan sebagai penggunaan jenis limbah lain secara bersamaan dengan limbah yang biasanya digunakan pada proses pengomposan untuk meningkatkan proses sekaligus mengurangi pembuangan limbah lain (Hapsari, 2014). Penambahan bahan organik pada tanah terkontaminasi hidrokarbon bermanfaat sebagai sumber *co-substrat*, nutrisi, mikroorganisme, memperbaiki struktur tanah, dan kemampuan tanah dalam menahan air (Van Gestel *et al.*, 2003). *Co-composting* sebagai metode bioremediasi telah dipertimbangkan sebagai metode yang sesuai dalam bioremediasi tanah terkontaminasi dan juga dapat mengurangi kontaminan juga meningkatkan struktur dan kandungan tanah (Semple *et al.*, 2001). Pemilihan metode *co-composting* juga memberikan kontribusi berkelanjutan dalam *reuse* sampah organik yang *biodegradable* yang kaya akan nutrisi dan mikroorganisme (Sayara *et al.*, 2011). Contoh desain metode *co-composting* untuk pengolahan *sludge* dapat dilihat pada Gambar 2.2.



Gambar 2. 2 Teknologi *Co-composting* Pengolahan *Sludge*
(Tiley, 2004)

2.2.1 Macam Metode *Co-composting*

Berdasarkan teori yang dikemukakan oleh Tchobanoglous *et al.* (1993), terdapat 3 (tiga) metode komposting yang umum dilakukan, yaitu *windrow system*, *aerated static pile system*, dan *in vessel system*. *Windrow system* banyak digunakan dalam

pengaplikasian remediasi tanah tercemar *crude oil* dengan metode *co-composting* (Agarry *et al.*, 2010). *Windrow system* merupakan metode pembuatan kompos paling sederhana dan paling murah. Bahan baku kompos berupa material organik ditumpuk memanjang dengan ketinggian 0,6-1 meter dan lebar 2-5 meter serta panjangnya 40-50 meter. Metode ini memanfaatkan sirkulasi udara secara alami sehingga sangat dipengaruhi dimensi tumpukan bahan baku kompos, kelembaban, dan ruang pori. Kelemahan dari metode ini adalah memerlukan area lahan yang cukup luas. Contoh metode komposting dengan *windrow system* dapat dilihat pada Gambar 2.3.



Gambar 2. 3 *Windrow System Composting*

Sumber : <http://gwri.calpoly.edu/cgibin/complex2/showPage.plx?pid=64>

Menurut Tchobanoglous *et al.* (1993), pengomposan dapat dibedakan berdasarkan prosesnya yaitu proses pengomposan aerobik dan pengomposan anaerobik.

a. Metode Pengomposan Aerobik

Komposting aerobik adalah metode pengomposan yang umum digunakan pada proses biologis untuk mengkonversi sampah organik menjadi bahan yang stabil seperti humus. Beberapa aplikasi pada teknik pengomposan secara aerobik adalah sampah taman, pemisahan sampah domestik, dan *co-composting* dengan lumpur air limbah (Tchobanoglous *et al.*, 1993). Reaksi yang terjadi pada pengomposan aerobik menurut Tchobanoglous *et al.* (1993) yaitu:

Materi organik + O₂ + nutrien + mikroorganisme



Kompos + sel baru + CO₂ + H₂O + NO₃ + SO₄²⁻ + panas

b. Metode Pengomposan Anaerobik

Komposting anaerobik mempunyai proses yang lebih kompleks daripada komposting aerobik. Pada pengomposan anaerobik menghasilkan manfaat yang lebih banyak yaitu dihasilkannya energi terbarukan berupa pembentukan gas metana (Tchobanoglous *et al.*, 1993). Reaksi yang terjadi pada pengomposan anaerobik menurut Tchobanoglous *et al.* (1993) yaitu:

Materi organik + H₂O + nutrien



Kompos + sel baru + CO₂ + CH₄ + NH₃ + H₂S + panas

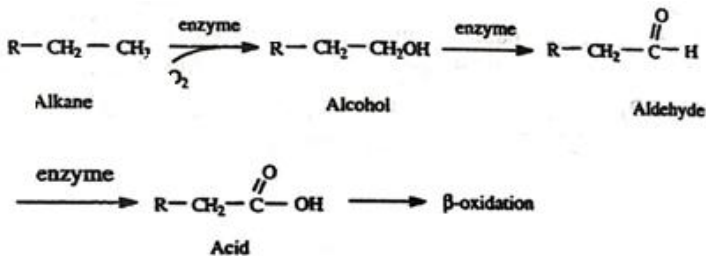
2.2.2 Penguraian Hidrokarbon dengan *Co-composting*

Pada proses penguraian hidrokarbon melalui rangkaian *co-composting* melibatkan beberapa proses. Bioenergetik atau katabolisme adalah bagian dari proses metabolisme yang dapat menghasilkan energi kimia. Melibatkan proses penguraian molekul-molekul organik menjadi molekul-molekul yang lebih sederhana. Hidrokarbon merupakan senyawa organik nonpolar yang keberadaannya seringkali dianggap sebagai pencemar lingkungan dipecah dari rantai kompleks menjadi rantai sederhana (Trihadiningrum, 2012).

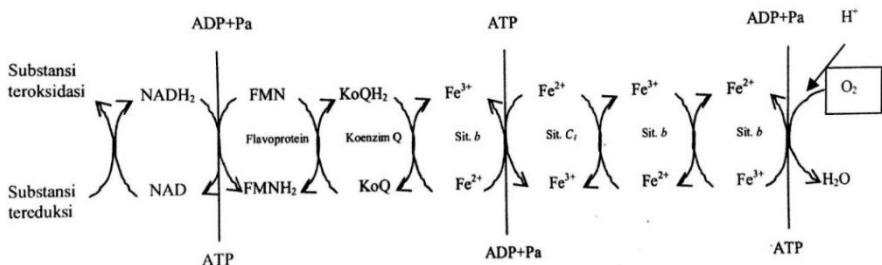
Pada proses penguraian hidrokarbon, pertama-tama hidrokarbon dioksidasi oleh bakteri aerob. Mikroorganisme yang dapat menguraikan jenis senyawa ini meliputi *Pseudomonas fluorescens*, *P. oleovorans*, *Acinobacter calcoaceticus*, *Candida lipolytica*, *Arthrobacter paraffineus*, dan *Corynebacterium glutamicum*. Gugus alkil terminal dioksidasi membentuk alkohol primer. Alkohol primer yang terbentuk akan dioksidasi lebih lanjut menjadi aldehida. Senyawa ini kemudian dioksidasi menjadi asam-asam lemak oleh dehidrogenase yang memerlukan NAD. Selanjutnya asam lemak mengalami proses β-oksidasi untuk kemudian memasuki siklus Krebs (Trihadiningrum, 2012). Siklus Krebs menghasilkan CO₂, KoA, NADH₂, FADH₂, dan ATP.

Selanjutnya pada sistem transport elektron, atom-atom H yang keluar dari asam-asam organik pada siklus Krebs dipindahkan oleh enzim dehidrogenase melalui senyawa-senyawa nukleotida (NAD dan NADP), flavoprotein dan sitokrom yang mengandung Fe. Produk akhirnya adalah air dan ATP (Trihadingrum, 2012).

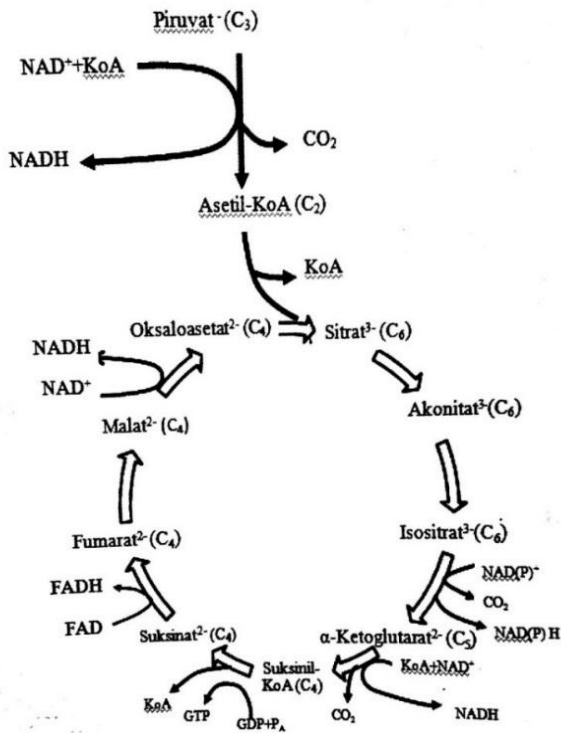
Ali (2012) mengemukakan bahwa degradasi hidrokarbon alifatik sebagian besar berlangsung secara aerobik. Pertama oksigen masuk pada hidrokarbon yang dibantu enzim oksigenase. Enzim oksigenase menyerang terminal gugus metil untuk mengubahnya menjadi alkohol. Alkohol dioksidasi menjadi aldehid dan selanjutnya menjadi asam karboksilat. Asam karboksilat didegradasi lebih jauh lagi melalui oksidase beta dan kemudian memasuki siklus Krebs. Proses degradasi hidrokarbon alifatik dapat digambarkan melalui reaksi pada Gambar 2.4, sistem transpor elektron pada Gambar 2.5 dan diagram siklus krebs pada Gambar 2.6.



Gambar 2. 4 Degradasi Hidrokarbon Alifatik hingga β -oksidasi
(Gaudy dan Gaudy, 1998)



Gambar 2. 5 Sistem Transport Elektron
(Trihadingrum, 2012)



Gambar 2. 6 Siklus Krebs
(Trihadingrum, 2012)

Pada teknik pemulihan tanah tercemar *crude oil* terdapat dua pendekatan yang dapat digunakan yaitu bioaugmentasi dimana mikroorganisme pengurai ditambahkan untuk melengkapi populasi mikroba yang telah ada, dan biostimulasi di mana pertumbuhan pengurai hidrokarbon asli dirangsang dengan cara menambahkan nutrisi. Metode biostimulasi dengan penambahan nutrisi pada proses pemulihan tanah tercemar *crude oil* diasumsikan mampu menstimulasi pertumbuhan mikroba tanah. Dalam waktu tertentu, pemulihan dengan teknik ini mampu menurunkan konsentrasi *crude oil*. Pertumbuhan mikroba alami

pada tanah tercemar tersebut akan mendegradasi hidrokarbon pada tanah tercemar *crude oil* (Handrianto *et al.*, 2012).

Sampah organik yang ditambahkan pada tanah terkontaminasi hidrokarbon pada proses *co-composting* berperan sebagai bahan untuk menstimulasi peningkatan aktifitas bakteri dalam tanah tercemar *crude oil* dan memberikan tambahan kadar hara pada tanah (Hardianto *et al.*, 2012). Penambahan nutrisi khususnya kadar hara N, P, K pada tanah tercemar *crude oil* akan menambah konsentrasi kadar hara pada tanah sehingga kadar hara pada tanah mencukupi (Handrianto *et al.*, 2012). Peningkatan konsentrasi kadar hara tanah dapat menstimulasi pertumbuhan dan perkembangbiakan mikroba, salah satunya bakteri hidrokarbonoklastik (Udiharto, 2005). Pada proses metabolisme bakteri hara N digunakan sebagai penyusun protein, asam nukleat, dan koenzim. Hara P digunakan sebagai penyusun asam nukleat, pospolipid, dan koenzim. Hara K digunakan sebagai kofaktor beberapa enzim (Handrianto *et al.*, 2012). Unsur C digunakan bakteri sebagai penyusun makromolekul sel misalnya protein, karbohidrat, asam nukleat, dan lipid. Semua molekul yang mengandung karbon ini terlibat dalam proses metabolisme. Tercukupinya kebutuhan nutrisi untuk perkembangbiakan bakteri ini akan menambah jumlah bakteri tersebut. Pertambahan jumlah dari bakteri ini akan memaksimalkan proses degradasi hidrokarbon *crude oil* sehingga penurunan konsentrasi hidrokarbon lebih optimum (Suharni, 2008). Penambahan sampah organik juga berfungsi dalam meningkatkan struktur dan jaringan tanah (menggemburkan dan menahan air) sehingga dapat mendukung pertumbuhan tanaman dan organisme lain pada tanah dan menambah pori pada tanah sehingga meningkatkan aerasi (Chijioke-Osui *et al.*, 2014; Atagana, 2008).

2.3 Biobased Surfactant

Senyawa aktif permukaan atau *surfactant* adalah suatu senyawa yang telah diketahui dapat menjadi penstabil emulsi. *Surfactant* memiliki dua gugus molekul yang berbeda kepolarannya. Satu jenis hidrofilik (suka air) sedangkan gugus yang lainnya hidrofobik (tidak suka air). *Surfactant* merupakan suatu molekul yang memiliki gugus hidrofilik dan lipofilik sekaligus sehingga dapat menyatukan campuran yang terdiri dari air dan

minyak. Aktivitas *surfactant* diperoleh karena sifat ganda dari molekulnya. Molekul *surfactant* memiliki bagian polar yang suka akan air (hidrofilik) dan bagian nonpolar yang suka akan lemak atau minyak (lipofilik). Bagian polar molekul *surfactant* dapat bermuatan positif, negatif, atau netral. Sifat rangkap ini yang menyebabkan *surfactant* dapat diadsorpsi pada antar muka udara-air, minyak-air, dan zat padat-air, membentuk lapisan hidrokarbon tunggal dimana gugus hidrofilik berada pada fase air dan rantai hidrokarbon ke udara, dalam kontak dengan zat padat ataupun terendam pada fase minyak. Umumnya bagian non polar (lipofilik) adalah merupakan rantai alkil yang panjang, sementara bagian yang polar (hidrofilik) mengandung gugus hidroksi (Jatmika, 1998).

Ditinjau dari produksinya, *surfactant* dapat dibedakan menjadi dua jenis yaitu *synthetic surfactant* (kimia) dan *biobased surfactant*. *Synthetic surfactant* biasanya digunakan dalam industri perminyakan, makanan, dan industri farmasi (Singh, 2006). *Biobased surfactant* terdiri dari produk alami yang didapatkan langsung dari bahan mentah tanpa adanya sintesis kimia atau modifikasi (Holmberg, 2001; Rybinski, 2001). Terdapat berbagai macam contoh pembentukan *biobased surfactant*, seperti *biosurfactant* dan *compost humic acid-like (cHAL)*.

Biosurfactant adalah senyawa aktif permukaan ekstraselular yang disekresi sel-sel mikroba yang ditumbuhkan pada hidrokarbon tertentu, juga memungkinkan dihasilkan dari substrat lain seperti karbohidrat (Chopinean *et al.*, 1988). Keutamaan kultur mikroba adalah kemampuannya mengekskresi relatif besar atau substansi aktif permukaan yang mengemulsi, atau membasahi fase hidrokarbon sehingga pembuatannya tersedia untuk absorpsi selular (Margaritis *et al.*, 1979). *Biosurfactant* terdiri dari molekul-molekul hidrofilik dan hidrofobik seperti halnya *synthetic surfactant*. *Biosurfactant* mempunyai sifat yang sama seperti *synthetic surfactant* dengan berbagai karakteristik, sehingga dapat menurunkan tegangan permukaan udara-air, dan tegangan antarmuka dalam cairan-cairan misalnya minyak dan air dan cairan padatan (Jack, 1993). *Biosurfactant* dapat membentuk partikel-partikel misel, pengemulsi hidrokarbon, dan mengubah karakteristik permukaan batuan.

Biosurfactant mempunyai sifat yang mirip seperti *synthetic surfactant*, akan tetapi *biosurfactant* lebih rendah tingkat

toksistasnya, mudah terurai secara biologi, lebih efektif pada suhu, pH dan kadar garam yang berlebihan, dan lebih mudah disintesis. Di samping itu, sifat aktif permukaan yang dimilikinya berbeda dengan *surfactant* yang disintesis secara kimia. *Biosurfactant* mempunyai banyak struktur. Sebagian besar adalah lemak, yang memiliki ciri struktur *surfactant* amfifil. Bagian lipofil dari lemak hampir selalu gugus hidrokarbon dari satu atau lebih asam lemak jenuh atau tak jenuh dan mengandung struktur siklik atau gugus hidroksi. Sebagian besar *biosurfactant* bermuatan netral atau negatif. Pada *biosurfactant* anionik, muatan itu disebabkan oleh karboksilat dan/atau fosfat atau kelompok sulfat. Sejumlah kecil *biosurfactant* kationik mengandung gugus amina (Herawan, 1998; Ee Lin Soo *et al.*, 2003).

Biosurfactant sebagian besar diproduksi oleh mikroorganisme seperti bakteri, ragi (khamir) dan kapang secara biotransformasi sel. Beberapa mikroba dapat menghasilkan *surfactant* pada saat tumbuh pada berbagai substrat yang berbeda, mulai dari karbohidrat sampai hidrokarbon. Perubahan substrat seringkali mengubah juga struktur kimia dari produk sehingga akan mengubah sifat *surfactant* yang dihasilkan. Beberapa mikroorganisme juga ada yang menghasilkan enzim dan dapat digunakan sebagai katalis pada proses hidrolisis, alkoholisis, kondensasi, asilasi atau esterifikasi. Proses ini digunakan dalam pembuatan berbagai jenis produk *surfactant* termasuk monogliserida, fosfolipida dan *surfactant* asam amino (Herawan, 1998; Ee Lin Soo *et al.*, 2003).

2.4 Parameter Pengukuran *Surfactant*

Pengukuran kondisi *surfactant* secara umum dapat menggunakan parameter yang menunjukkan eksistensi *surfactant* sama halnya pada *biobased surfactant* misalnya melalui parameter tegangan permukaan dan kemampuan emulsifikasi.

2.4.1 Tegangan Permukaan

Tegangan permukaan yaitu gaya tarik menarik antara molekul-molekul pada permukaan cairan dengan udara yang cenderung menggerakkan molekul-molekul tersebut menuju bagian pusat cairan sehingga menyebabkan cairan membentuk lapisan tipis. Sedangkan tegangan antar muka yaitu gaya tarik

menarik antara dua fase yang berbeda polaritasnya (Hargreaves, 2003).

Salah satu contoh pengukuran tegangan permukaan yaitu pada metil ester sulfonate (MES) sebesar 30,13 dyne/cm, untuk MES yang dipasaran sebesar 29,98 dyne/cm dan SLS sebesar 30,20 dyne/cm. Sedangkan tegangan antar muka untuk MES yang dibuat (A) sebesar 15,88 dyne/cm, MES dari pasaran (B) sebesar 7,13 dyne/cm, dan SLS (C) sebesar 7,77 dyne/cm. Hal ini menunjukkan kemampuan dalam menurunkan tegangan antar muka minyak air untuk A sebesar 47,29%, B sebesar 76,21% dan C sebesar 74,27%. Hal ini disebabkan karena dalam proses sulfonasi, terikatnya gugus sulfonat dalam reaksi antara asam sulfat pada atom karbon metil ester. Semakin besar ikatan gugus sulfonat pada rantai karbon metil ester akan meningkatnya jumlah gugus hidrofilik dari MES. Gugus hidrofilik ini akan menurunkan gaya kohesi dari molekul air sehingga akan menurunkan tegangan permukaan (Sampepana *et al.*, 2012).

Menurut Suryani *et al.*, (2000), penurunan tegangan antar muka akan menurunkan gaya kohesi dan sebaliknya meningkatkan gaya adhesi. Gaya kohesi adalah gaya antar molekul yang bekerja diantara molekul-molekul yang sejenis, sedangkan gaya adhesi adalah gaya antar molekul yang bekerja diantara molekul-molekul yang tidak sejenis. Gaya tolak-menolak bersifat menstabilkan emulsi karena gaya ini mempertahankan butiran dopret agar tetap terpisah.

Semakin banyak molekul *surfactant* yang terbentuk dapat membuat tegangan permukaan semakin menurun. Semakin banyaknya molekul *surfactant*, maka gaya kohesi air akan menurun. Molekul-molekul *surfactant* mempunyai kecenderungan untuk berada pada permukaan sebuah cairan. Akibat dari adanya *surfactant* adalah secara signifikan menurunkan jumlah total kerja untuk memperluas permukaan karena molekulnya mengikat fasa polar, yaitu air, dan non-polar, yaitu udara (Farn, 2006).

2.4.2 Kemampuan Emulsifikasi

Emulsi adalah dispersi suatu larutan dalam larutan lainnya, pada umumnya adalah *water-in-oil* (w/o) atau *oil-in water* (o/w). Total daerah *interfase* (antar muka) dalam suatu emulsi sangat besar karena daerah interfase bergabung dengan energi

positif bebas (tegangan antarmuka), maka sistem emulsi menjadi tidak stabil secara termodinamika. Tetapi ada kemungkinan untuk membentuk emulsi dengan stabilitas yang lama. Hal ini dapat dilakukan dengan penggunaan suatu emulsifier yang akan berakumulasi pada permukaan minyak/air dan membentuk lapisan energi (Claesson *et al.*, 2001).

Emulsifier dapat berupa *surfactant* anionik, zwitterionik, atau nonionik, protein, dan polimer (Holmberg *et al.*, 2002). Menurut Claesson (2001) menyatakan bahwa penambahan bahan pengemulsi yang cukup ke dalam campuran dua larutan akan terbentuk lapisan utuh antara kedua cairan tersebut yang dapat menurunkan tegangan permukaan, sehingga tetap stabil dan lama. Menurut Suryani *et al.* (2000), kestabilan emulsi pada suatu *surfactant* adalah kesetimbangan antara gaya tarik-menarik dan gaya tolak-menolak yang terjadi antar partikel dalam sistem emulsi. Apabila kedua gaya ini dapat dipertahankan tetap seimbang atau terkontrol, maka globula-globula fasa terdispersi dalam sistem emulsi dapat dipertahankan agar tidak tergabung. Adapun faktor-faktor yang menentukan kestabilan suatu emulsi adalah ukuran partikel dan distribusi, jenis emulsifier yang digunakan, rasio antara fasa terdispersi dan fasa pendispersi dan perbedaan tegangan antara dua fasa.

2.5 Compost Humic Acid-Like (cHAL)

2.5.1 Kompos

Kompos adalah zat akhir suatu proses fermentasi tumpukan sampah atau serasah tanaman dan ada kalanya pula termasuk bangkai binatang. Sesuai dengan humifikasi fermentasi suatu pemupukan dicirikan oleh hasil bagi C/N yang menurun. Bahan-bahan mentah yang biasa digunakan seperti ; merang, daun, sampah dapur, sampah kota dan lain-lain dan pada umumnya mempunyai hasil bagi C/N yang melebihi 30 (Sutedjo, 2002). Di alam terbuka, kompos bisa terjadi dengan sendirinya, lewat proses alamiah. Namun proses tersebut berlangsung lama sekali padahal kebutuhan akan tanah yang subur sudah mendesak. Oleh karenanya, proses tersebut perlu dipercepat dengan bantuan manusia. Dengan cara yang baik, proses mempercepat pembuatan kompos berlangsung wajar sehingga bisa diperoleh kompos yang berkualitas baik (Murbandono, 2000).

Menurut Indriani (2007) kompos mempunyai beberapa sifat yang menguntungkan antara lain :

- a. memperbaiki struktur tanah berlempung sehingga menjadi ringan,
- b. memperbesar daya ikat tanah berpasir sehingga tanah tidak berderai,
- c. menambah daya ikat air pada tanah, memperbaiki drainase dan tata udara dalam tanah,
- d. mempertinggi daya ikat tanah terhadap zat hara, mengandung hara yang lengkap walaupun jumlahnya sedikit,
- e. membantu proses pelapukan bahan mineral, memberi ketersediaan bahan makanan bagi mikroba.

Kompos dibuat dari bahan organik yang berasal dari bermacam-macam sumber. Dengan demikian, kompos merupakan sumber bahan organik dan nutrisi tanaman. Kemungkinan bahan dasar kompos mengandung selulose 15-60%, hemiselulose 10-30%, lignin 5-30%, protein 5-30%, bahan mineral (abu) 3-5%, di samping itu terdapat bahan larut air panas dan dingin (gula, pati, asam amino, urea, garam amonium) sebanyak 2-30% dan 1-15% lemak larut eter dan alkohol, minyak dan lilin (Sutanto, 2002). Pengomposan merupakan proses perombakan (dekomposisi) dan stabilisasi bahan organik oleh mikroorganisme dalam keadaan lingkungan yang terkendali (terkontrol) dengan hasil akhir berupa humus dan kompos (Simamora dan Salundik, 2006).

Humus merupakan produk akhir dekomposisi bahan organik dan sintesis mikroba yang relatif stabil dan resisten, fraksi terhumifikasi dari humus disebut sebagai senyawa humat (Brady, 1990). Senyawa humat mempunyai peranan yang sangat menguntungkan terhadap perkembangan tanah dan juga pertumbuhan tanaman. Senyawa tersebut dapat memperbaiki pertumbuhan tanaman melalui peranannya dalam mempercepat proses respirasi, meningkatkan permeabilitas sel, serta meningkatkan penyerapan air dan hara (Tan, 1993). Selain itu, Tan (1993) juga menjelaskan bahwa bersama dengan liat tanah bahan-bahan humat memegang peranan penting dalam sejumlah aktivitas kimia dalam tanah, asam humat mempunyai kapasitas tukar kation yang tinggi dan kemasaman yang lebih rendah

dibanding asam fulvat, oleh karena itu asam humat dapat memperbaiki sifat dan kualitas tanah. Polifenol, yang berasal dari lignin atau disintesis oleh mikroba, yang enzimatik dikonversi ke *quinon*, yang mengalami kondensasi diri atau bergabung dengan senyawa amino untuk membentuk polimer yang mengandung nitrogen. Substansi humat sebagian besar disebabkan oleh adanya oksigen tinggi mengandung gugus fungsional: karboksil, fenolik, dan/atau *enolic*, hidroksi, alkohol, keton dari *quinon* dan hidroksi *quinon*, serta *alpha* dan *beta* keton tak jenuh (Pauli, 1967).

Berdasarkan peranannya di dalam tanah, maka keberadaan asam-asam organik (humat dan fulvat) menjadi sangat penting untuk diketahui karakteristik dan jumlahnya pada kompos. Kandungan asam-asam organik (humat dan fulvat) perlu dijadikan sebagai salah satu acuan dan standar untuk menentukan kualitas kompos. Kandungan asam humat maupun asam fulvat telah terbentuk setelah 20 hari pengomposan dengan jumlah asam fulvat jauh lebih tinggi dibandingkan dengan asam humat. Pada umur kompos 20 hari jumlah asam humat yang terbentuk belum berbeda nyata antar perlakuan yang dicobakan. Seiring dengan lamanya pengomposan kandungan asam humat secara perlahan meningkat, sementara asam fulvat terlihat sudah menurun jumlahnya pada umur kompos pada umur 60 hari. Sejalan dengan apa yang dikemukakan oleh Inbar *et al.* (1990) dimana dikatakan bahan organik yang perombakannya baru pada tahap awal biasanya mengandung asam fulvat lebih banyak dibandingkan asam humat dan jika perombakannya telah berlanjut asam fulvat menurun atau tetap jumlahnya. Sedangkan asam humat justru meningkat (Agustian dan Gusnidar, 2004).

2.5.2 Humic Acid Sebagai Asam Organik

Istilah asam humat dikemukakan oleh Berzelius pada tahun 1830 yang menggolongkan fraksi humat ke dalam:

- a. Asam humat, yakni fraksi yang larut dalam basa,
- b. Asam krenik dan apokrenik, yakni fraksi yang larut dalam asam, dan
- c. Humin, yakni bagian yang tidak larut dalam air dan basa.

Asam humat disebut sebagai ulmat dan humin sebagai ulmin oleh Mulder pada tahun 1840. Tahun 1912, Olden mengusulkan penggunaan nama asam fulvat untuk menggantikan

istilah asam krenik dan apokrenik. Sekarang senyawa humat didefinisikan sebagai bahan koloidal terdispersi bersifat amorf, berwarna kuning hingga coklat-hitam dan mempunyai berat molekul relatif tinggi (Tan, 1993; Millar, 1959; Stevenson, 1982).

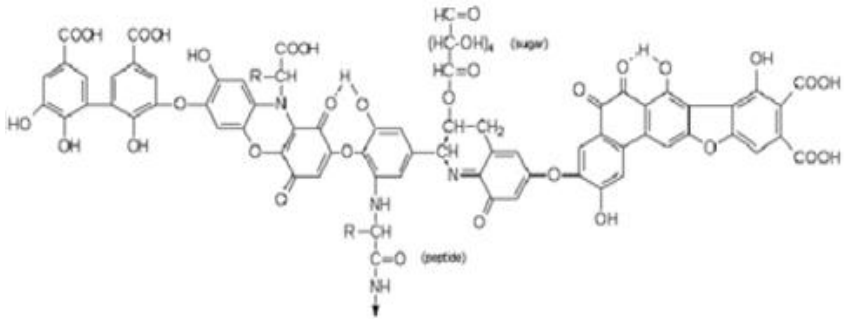
Berdasarkan hasil penelitian, secara kimia ketiga fraksi senyawa humat baik asam humat, asam fulvat dan humin mempunyai komposisi yang hampir sama, tetapi berbeda dalam hal bobot molekul dan kandungan gugus fungsionalnya. Asam fulvat mempunyai bobot molekul rendah, tetapi kandungan gugus fungsional yang mengandung O, yaitu COOH (karboksil), -OH (fenolik) dan -C=O (karbonil) lebih tinggi per satuan bobot dibanding dengan asam humat dan humin (Kononova, 1966).

2.5.3 Struktur dan Karakteristik *Humic Acid*

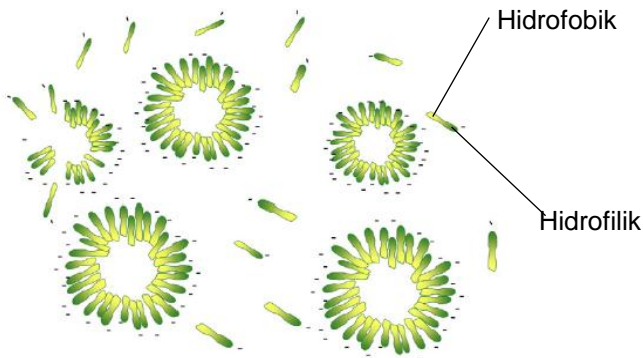
Humic Acid merupakan substrat organik yang berupa konstituen alami pada tanah (Senesi dan Loffredo, 2000) dan air (Boggs *et al.*, 1985; Gasparovic dan Cosovic, 2003). *Humic Acid* mempunyai komposisi yang terdiri atas polimer tanaman dan fraksi hidrofilik, dimana kandungan utamanya berupa kelompok ionik seperti asam karboksilat, dan ikatan nonpolar seperti fenol, alkohol, aldehyd, keton, amide dan amino. Karakteristik tersebut mengindikasikan bahwa *humic acid* mempunyai kelengkapan amfibiik, dan dapat digunakan sebagai *natural surfactant (biobased surfactant)*.

Kemampuan *humic acid* dalam meningkatkan kelarutan kontaminan telah teruji langsung pada media tanah. *Humic Acid* pada konsentrasi 10 mg/L dapat melakukan pemisahan sejumlah polutan dan *polycyclic aromatic hydrocarbon* (PAH), triophene dari tanah sama halnya dengan SDS dan Triton X-100. Asam humic menunjukkan perannya sebagai *surfactant* dan dapat digunakan untuk substitusi *synthetic surfactant* pada berbagai aplikasi. Namun ide ini membutuhkan prosedur yang jelas sebagai kontrol kualitas, sertifikasi dan pengemasan. Tanpa langkah tersebut akan sulit untuk melakukan promosi dan pengembangan di pasar yang kompetitif (Avdalovic *et al.*, 2012). Struktur *humic acid* menurut Stevenson (1994) dapat dilihat pada Gambar 2.7. *Humic acid* mempunyai *micelle* yang diberikan pada sistem air alami sehingga akan muncul *humic acid* menjadi mirip seperti struktur membran dengan hidrofobik dan permukaan hidrofilik (Salati *et al.*, 2015).

Gambar struktur hidrofobik dan hidrofilik dari *humic acid* dapat dilihat pada Gambar 2.8.



Gambar 2. 7 Struktur Humic Acid
(Stevenson, 1994)



Gambar 2. 8 Ilustrasi Struktur Humic Acid
(Salati *et al.*, 2015)

2.5.4 Pemisahan *Humic Acid*

Teknik pemisahan *Compost Acids Humic - Like* (cHAL) dapat dilakukan dengan melakukan serangkaian prosedur yang meliputi pembuatan ekstraksi *surfactant*, pengukuran pH, pengukuran cmc, pengukuran absorbansi, pengukuran tegangan permukaan dan parameter termodinamik (Munanha dan Khan, 2015). Kandungan asam-asam organik dari bahan kompos telah dipelajari oleh Rahmawati (2003) dengan melihat karakterisasi

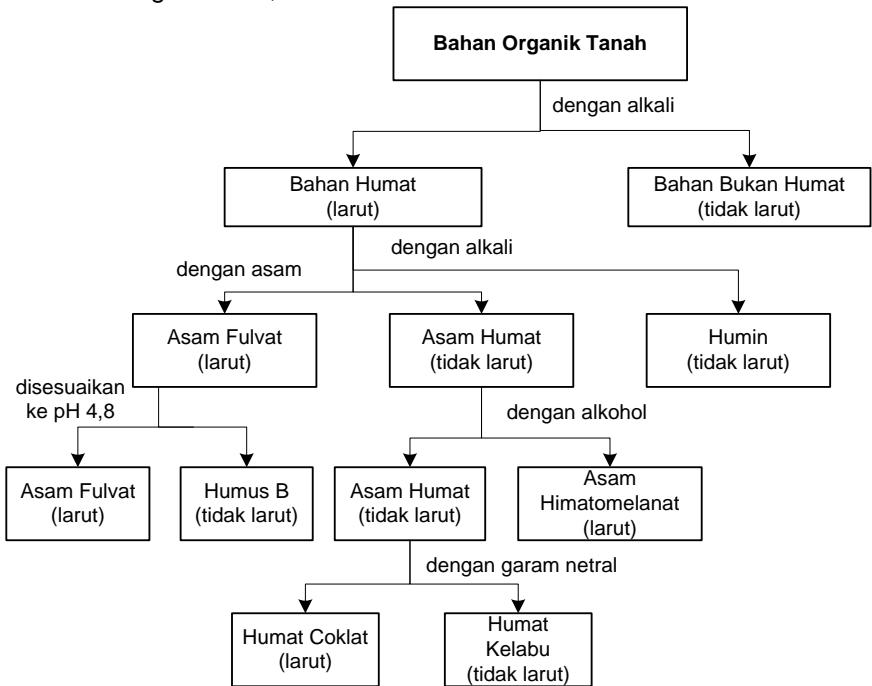
asam humat yang dihasilkan dari hasil ekstraksi kompos gambut dan kompos daun karet menunjukkan bahwa kualitas bahan sangat menentukan kandungan asam humat dan asam fulvat yang dihasilkan serta sifat kimia lainnya. Rahmawati (2003) juga menerangkan bahwa kemasaman total dari gugus karboksil (-COOH) dan gugus fenol (-OH) meningkat (7.84 – 12.17) me/g setelah gambut dikomposkan, kemasaman total yang tinggi merefleksikan kompleksasi yang tinggi ataupun kapasitas khelat yang tinggi dari 20 asam humat. Sedangkan Wahjudin (2006) menunjukkan bahwa manfaat pemberian kompos pada tanah (*Vertic Hapludult*) yang diberikan tambahan (2%) kompos dari jerami padi yang masih mentah (C/N>45) akan meningkatkan kandungan asam humat pada bahan campuran sampai hampir 50 kali lipat lebih besar dari kandungan asam humat pada bahan kompos itu sendiri dan meningkatkan produksi tanaman uji. Walaupun terdapat keraguan dari mana terjadinya peningkatan asam humat sebesar itu, tetapi informasi tersebut paling tidak menunjukkan bahwa asam humat dan asam fulvat merupakan salah satu sifat penting pada kompos.

Pemisahan asam humat didasarkan atas kelarutannya dalam asam dan alkali. Diagram alur untuk pemisahan senyawa-senyawa humat ke dalam fraksi-fraksi humat yang berbeda dapat terlihat pada Gambar 2.9. Pemisahan asam humat menjadi sangat penting untuk diketahui dan dipahami supaya memudahkan dalam penentuan kualitas kompos, Tan (1993) mengemukakan bahwa pemilihan ekstrakan yang cocok didasarkan pada dua pertimbangan yaitu:

- a. pengeksrak seharusnya tidak mempunyai pengaruh merubah sifat fisik dan kimia bahan yang diekstrak; dan
- b. pengeksrak harus dapat secara kuantitatif memisahkan bahan humat dari tanah.

Tan (1991) mengemukakan bahwa pelarut yang digunakan untuk ekstrakan bahan-bahan humat adalah asam oksalat, asam format, asetil aseton, heksametil entetramina, deoksilsulfat, dan urea. Akan tetapi, sejauh ini tidak satupun di antara pelarut-pelarut tersebut yang memuaskan. Prosedur yang paling umum digunakan untuk ekstraksi asam humat adalah dengan NaOH (Stevenson, 1982). Menurut Tan (1993) larutan

NaOH 0,1 N lebih disukai oleh sifat ekstraknya yang tidak terlalu kuat dibanding NaOH 0,5 N.



Gambar 2. 9 Diagram Alur Pemisahan Senyawa Humat
(Tan, 1993; Stevenson, 1982 dengan Modifikasi)

2.5.5 Peran Asam Humat dalam Pemisahan Kontaminan Tanah

Asam humat terdiri dari sistem supramolekul yang kompleks dimana kecil dan molekul biomolekul yang beragam secara kimia membentuk gugus yang terhubung melalui hidrogen ikatan dan interaksi hidrofobik (Buurman *et al.*, 2002; Piccolo, 2001; Piccolo, 2002; Simpson, 2002; Sutton dan Sposito, 2005; Wershaw, 1993). Model struktural semacam itu mengindikasikan adanya keberadaan struktur supramolekul dari kedua fraksi hidrofobik, yang terutama terdiri dari rantai hidrokarbon yang berasal dari relatif tidak berubah segmen polimer tanaman, dan

fraksi hidrofilik, yang terdiri atas gugus ionik seperti asam karboksilat, dan kutub nonionik seperti fenol, alkohol, aldehida, keton, amida dan amina. Karakteristik ini menunjukkan bahwa HAS memiliki sifat *amphiphilic*. Asam humat bertindak sebagai *natural surfactant* atau *biobased surfactant* yaitu mereka mampu menurunkan tegangan permukaan pada konsentrasi tinggi, seperti struktur micelle dan membentuk emulsi dengan kontaminan (Guetzloff dan Rice, 1994; Kleber *et al.*, 2007).

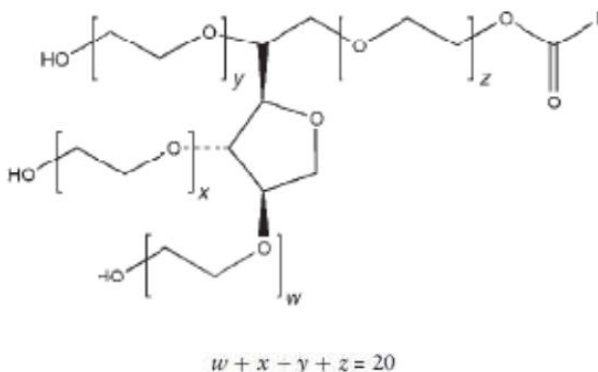
Selain dari sifat hidrofobik dan hidrofiliknya juga terdapat fenomena adsorpsi oleh *surfactant* mengacu pada kumpulan molekul pada permukaan luar atau permukaan internal padatan atau cairan (Dabrowski, 2001; Desta, 2013). Selama proses banjir, molekul *surfactant* cenderung membentuk agregat pada permukaan batuan yang menurunkan konsentrasi awal dimana dibutuhkan untuk menurunkan tegangan antarmuka (IFT). Jumlah *surfactant* yang teradsorpsi bergantung pada berbagai parameter seperti; Jenis *surfactant* yang digunakan, mineralogi dan karakteristik morfologi batuan, adanya *co-surfactant* dan alkohol, kotoran, sifat elektrolit yang ada dalam larutan, suhu reservoir dan pH reservoir (Bera, 2015; Wilson *et al.*, 2014; Alvarado dan Manrique, 2010; Sheng, 2015).

Kemurnian *surfactant* anionik, rantai hidrokarbon dan kelompok fungsional semua kondisi ini memainkan aturan dalam adsorpsi. Kemurnian *anionic surfactant* tidak banyak diperhitungkan dalam industri minyak dan gas namun menjadi pertimbangan terbentuknya koloid. Beberapa laporan menyebutkan bahwa efek kelompok fungsional memainkan peran penting dalam struktur yang teradsorpsi lapisannya tergantung pada bentuk molekul serta tergantung pada tolakan yang sama. Isomer *surfactant* dengan kelompok fungsional yang sama, perbandingan adsorpsi tetap sama dan sangat tergantung pada biaya pada kelompok fungsional (Scamehorn *et al.*, 1982; Bera *et al.*, 2013; Mao *et al.*, 2015). Akibatnya, *surfactant* dengan rantai hidrokarbon yang lebih lama memiliki penggerak yang jauh lebih besar kekuatan untuk agregasi, ini menunjukkan bahwa *anionic surfactant* dengan rantai yang lebih panjang memiliki hubungan langsung dengan agregat di atas batu karang permukaan (Bera *et al.*, 2013).

2.6 Tween 80

2.6.1 Struktur dan Sumber

Tween 80 adalah ester asam lemak polioksietilen sorbitan, dengan nama kimia polioksietilen 20 sorbitan monooleat. Penamaan tersebut dikarenakan Tween 80 atau Polysorbate 80 juga merupakan ester oleat dari sorbitol di mana tiap molekul anhidrida sorbitolnya berkopolimerisasi dengan 20 molekul etilenoksida. Rumus molekul Tween 80 adalah $C_{64}H_{124}O_{26}$ dengan rumus struktur pada Gambar 2.10. Tween 80 berupa cairan kental berwarna kuning dan agak pahit (Rowe *et al.*, 2009). Secara spesifik pada suhu 25°C , Tween 80 berwujud cair, berwarna kekuningan dan berminyak, memiliki aroma yang khas, dan berasa pahit. Larut dalam air dan etanol, tidak larut dalam minyak mineral.



Gambar 2. 10 Rumus Bangun Tween 80
(Rowe, 2009)

Kegunaan Tween 80 antara lain sebagai: zat pembasah, emulgator, dan peningkat kelarutan (Rowe, 2009). Tween 80 juga berfungsi sebagai peningkat penetrasi (Akhtar, *et al.*, 2011). Tween 80 dalam penggunaannya sebagai *emulsifying agent* pada emulsi tipikal tipe minyak dalam air, dikombinasikan dengan emulsifier hidrofilik pada emulsi minyak dalam air, dan untuk menaikkan kemampuan menahan air pada salep, dengan konsentrasi 1-15% sebagai solubilizer. Tween 80 digunakan secara luas pada kosmetik sebagai emulsifying agent (Smolinske, 1992). Tween 80 larut dalam air dan etanol (95%), namun tidak

larut dalam mineral oil dan *vegetable oil*. Aktivitas anti mikroba dari pengawet golongan paraben dapat mengurangi jumlah *polysorbate* (Rowe *et al.*, 2009).

2.6.2 Aplikasi Tween 80 dalam Pemisahan Hidrokarbon

Dalam rangka meningkatkan kelarutan dari polutan TPH, perlu ditambahkan suatu agen aktif permukaan (emulsifier atau *surfactant*). Salah satu kondisi yang membatasi proses biodegradasi senyawa hidrokarbon adalah tingkat kelarutan dari senyawa tersebut yang menyebabkan penurunan efisiensi serta laju degradasi. Keterbatasan tersebut dapat diatasi dengan penambahan senyawa aktif permukaan ke dalam sistem sehingga akan meningkatkan kelarutan senyawa hidrokarbon untuk didegradasi oleh mikroorganisme. Penambahan *surfactant* berupa *biosurfactant* dan Tween 80 mampu meningkatkan kelarutan polutan sehingga menjadi lebih tersedia untuk digunakan mikroorganisme. Hal tersebut ditunjukkan dengan efisiensi pemisahan TPH dalam reaktor dengan penambahan *biosurfactant* dan reaktor penambahan Tween 80 sebesar 65,1% dan 73,8% dimana lebih besar dari reaktor kontrol yang hanya mampu menurunkan konsentrasi TPH sebesar 24,3% (Helmy dkk, 2011).

2.7 Soil Washing

2.7.1 Pengertian

Soil washing adalah proses reduksi volume atau minimisasi limbah dimana (i) partikel tanah yang mengandung mayoritas kontaminan dipisahkan dari fraksi *bulk* tanah, atau (ii) kontaminan disisihkan dari tanah dengan larutan kimia dan di-*recovery* dari larutan dalam bentuk substrat padat. Di kedua metode, kontaminan yang telah disisihkan akan dibuang ke *landfill* bahan berbahaya dan beracun (B3) (atau akan diolah lebih lanjut dengan proses kimia, *thermal* atau biologis) (Technical Bulletin, 2007).

Proses *soil washing* akan selalu menggunakan air. Adapun fungsi air pada *soil washing* adalah:

- a. pemecah gumpalan (*disaggregate*) tanah
- b. bahan untuk mengendapkan partikel tanah sehingga proses pemisahan dapat terjadi secara efektif dan efisien
- c. apabila terdapat penambahan bahan kimia, air berfungsi untuk melarutkan kontaminan (CLAIRE, 2007).

2.7.2 Aplikasi Remediasi Tanah Tercemar

Terdapat banyak faktor yang harus dipertimbangkan dalam pemilihan metode *soil washing* sebagai teknik remediasi tanah terkontaminasi minyak. Teknologi *soil washing* dapat digunakan secara independen atau digabungkan dengan teknologi pengolahan lainnya. Berikut ini adalah beberapa faktor seleksi untuk penerapan teknologi *soil washing* menurut ITRC (1997), tetapi satu faktor tidak dapat digunakan secara independen untuk mengeliminasi kemampuan aplikasi *soil washing* pada lahan tercemar.

- a. *Soil washing* dianggap efektif dalam pengolahan kontaminan organik ataupun anorganik dalam jangkauan variasi yang besar termasuk logam berat, *radionuclides*, sianida, *polynuclear aromatic compounds*, pestisida dan PCB.
- b. *Soil washing* sangat cocok digunakan jika tanah terdiri dari 50 sampai 70 persen pasir (*sands*). Biaya *soil washing* akan menjadi tidak efektif untuk tanah dengan kandungan *fines* (*silt/clay*) lebih dari 30 sampai 50 persen.
- c. Umumnya, biaya *on-site treatment* dengan teknik *soil washing* tidak akan efektif kecuali lahan terdiri dari setidaknya 5000 ton tanah tercemar minyak.
- d. Ruang yang dibutuhkan dapat bervariasi berdasarkan desain sistem *soil washing*, sistem pengangkutan dan logistik lahan. Unit dengan kemampuan pengolahan sebesar 20 ton per jam dapat ditempatkan dalam luas lahan sebesar setengah *acre*, termasuk lahan untuk tahap tanah yang belum diolah dan telah diolah. Beberapa sistem mungkin membutuhkan ruang tambahan, tergantung pada desain sistem.

2.8 Spektrofotometri FTIR

Alat FT-IR (*Fourier Transform Infra Red*) adalah salah satu instrumen yang menggunakan prinsip spektroskopi. Spektroskopi adalah spektroskopi inframerah yang dilengkapi dengan transformasi fourier untuk deteksi dan analisis hasil spektrumnya (Anam. 2007). Spektroskopi inframerah berguna untuk identifikasi senyawa organik karena spektrumnya yang sangat kompleks yang terdiri dari banyak puncak-puncak. Spektrofotometri infra-merah sangat penting dalam kimia modern, terutama dalam bidang kimia organik. FTIR merupakan alat rutin dalam penemuan gugus

fungsional, pengenalan senyawa, dan analisis campuran. Kebanyakan gugus, seperti CH, O-H, C=N, dan C=N, menyebabkan pita absorpsi infra-merah, yang berbeda hanya sedikit dari satu molekul ke yang lain tergantung pada substituen yang lain (Day dan Underwood, 1990). Spektrofotometri infra-merah dapat digunakan untuk penentuan keberadaan suatu struktur secara kualitatif, khususnya senyawa organik dan juga untuk analisis kuantitatif, seperti analisis kuantitatif pencemaran udara, misalnya karbon monoksida dalam udara dengan teknik non-dispersive (Khopkar, 2003).

Serapan radiasi inframerah oleh suatu molekul terjadi karena interaksi vibrasi ikatan kimia yang menyebabkan perubahan polarisabilitas dengan medan listrik gelombang elektromagnetik. Terdapat dua macam getaran molekul, yaitu getaran ulur dan getaran tekuk. Getaran ulur adalah suatu gerakan berirama di sepanjang sumbu ikatan sehingga jarak antar atom bertambah atau berkurang. Getaran tekuk dapat terjadi karena perubahan sudut-sudut ikatan antara ikatan-ikatan pada sebuah atom, atau karena gerakan sebuah gugusan atom terhadap sisa molekul tanpa gerakan nisbi atom-atom di dalam gugusan. Contohnya liukan (*twisting*), goyangan (*rocking*) dan getaran puntir yang menyangkut perubahan sudut-sudut ikatan dengan acuan seperangkat koordinat yang disusun arbitrer dalam molekul. Hanya getaran yang menghasilkan perubahan momen dwikutub secara berirama saja yang teramati di dalam inframerah (Hartomo, 1986).

Identifikasi pita absorpsi khas yang disebabkan oleh berbagai gugus fungsi merupakan dasar penafsiran spektrum inframerah. Hadirnya sebuah puncak serapan dalam daerah gugus fungsi dalam sebuah spektrum inframerah hampir selalu merupakan petunjuk pasti bahwa beberapa gugus fungsi tertentu terdapat dalam senyawa cuplikan. Demikian pula, tidak adanya puncak dalam bagian tertentu dari daerah gugus fungsi sebuah spektrum inframerah biasanya berarti bahwa gugus tersebut yang menyerap pada daerah itu tidak ada (Pine, 1980). Asam karboksilat mempunyai dua karakteristik absorpsi IR yang membuat senyawa -CO₂H dapat diidentifikasi dengan mudah. Ikatan O-H dari golongan karboksil diabsorpsi pada daerah 2500 sampai 3300 cm⁻¹, dan ikatan C=O yang ditunjukkan diabsorpsi di antara 1710 sampai 1750 cm⁻¹ (McMurry, 2007). Pancaran infra-

merah pada umumnya mengacu pada bagian spektrum elektromagnet yang terletak di antara daerah tampak dan daerah gelombang mikro. Bagi kimiawan organik, sebagian besar kegunaannya terbatas di antara 4000 cm⁻¹ dan 666 cm⁻¹ (2,5 – 15,0 μm). Akhir-akhir ini muncul perhatian pada daerah infra-merah dekat, 14.290 – 4000 cm⁻¹ (0,7 – 2,5 μm) dan daerah infra-merah jauh, 700 – 200 cm⁻¹ (14,3 – 50 μm) (Silverstein, *et al.*, 1986). Rentang pita serapan dan gugus fungsi yang terbaca pada asam humat selengkapnya pada Tabel 2.1.

Tabel 2. 1 Rentang Pita Serapan FTIR

Gugus Fungsi	Rentang*
-OH	3000-3450
- COOH	1300-1490
ester, eter dan keton	1080-1760
C=C dalam siklik dan benzena (aromatik)	1500-1600
Alifatik	2850-3000

Sumber : Silverstein *et al.*(2005) dan www.le.ac.uk/chemistry

2.9 Penelitian Terdahulu

Beberapa penelitian terdahulu telah dilakukan untuk membuktikan bahwa asam humat yang merupakan salah satu substrat hasil komposting dapat dimanfaatkan sebagai *biobased surfactant*. Hasil pengukuran terhadap parameter cHAL yang dilakukan oleh penelitian sebelumnya terdapat sebagaimana pada Tabel 2.2 menunjukkan referensi penelitian terdahulu yang memuat karakteristik cHAL dari beberapa sumber dan disertai dengan aplikasi jenis kontaminan pada tanah yang disisihkan.

Tabel 2. 2 Penelitian Terdahulu cHAL

No	Referensi	Material	Waktu Co-composting (Hari)	Hasil		
				Tegangan Permukaan (dyne/cm)	Aktivitas Emulsi (%)	Efisiensi Soil Washing (%)
1	Qualiotto <i>et al.</i> (2006)	Sumber cHAL : Sampah kebun dan sampah makanan (1/1-v/v)	15	36,1	-	-
2	Montoneri <i>et al.</i> (2008)	Sumber cHAL : Sampah perkotaan Komparasi : 1. Linear Alkylbenzene Sulfonate (LAS) 2. Asam poliakrilat.	-	37,8	-	-
3	Quadri <i>et al.</i> (2008)	Sumber cHAL : 1. Sampah Lignoselulosa 2. Sampah Lignoselulosa 3. Sampah Lignoselulosa dan Sampah Makanan (1/1-v/v) 4. Sampah Lignoselulosa dan Sampah Makanan (1/1-v/v)	0 15 0 15	43,5 50,4 40,8 47,6	- - - -	- - - -
4		Sumber cHAL : 1. Sampah Kebun	-	38	-	-

No	Referensi	Material	Waktu Co-composting (Hari)	Hasil		
				Tegangan Permukaan (dyne/cm)	Aktivitas Emulsi (%)	Efisiensi Soil Washing (%)
	Savarino <i>et al.</i> (2010)	2. Sampah Kebun	7	38	-	-
		3. Sampah Kebun	60	38,1	-	-
		4. Sampah Makanan dan Sampah Kebun (1/1-w/w)	-	30,3	-	-
		5. Sampah Makanan dan Sampah Kebun (1/1-w/w)	7	30,3	-	-
		6. Sampah Makanan dan Sampah Kebun (1/1-w/w)	60	38	-	-
		7. Residu Tanaman Jagung	-	43	-	-
5	Avdalic <i>et al.</i> (2012)	Sumber cHAL :				
		1. Biomassa	-	43,5	-	-
		2. Sampah perkotaan dan sampah kebun	-	38	-	-
		3. Sampah Tanaman	-	43	-	-
		Kontaminan :				
		PAH				
6	Kulikowska <i>et al.</i> (2015)	Sumber cHAL :				
		Kompos Lumpur Saluran Air (Drainase)				

No	Referensi	Material	Waktu Co-composting (Hari)	Hasil		
				Tegangan Permukaan (dyne/cm)	Aktivitas Emulsi (%)	Efisiensi Soil Washing (%)
7	Hadarah (2015)	Kontaminan :				
		1.Cu				
		2.Cd				
		Soil washing tanah sandy loam tercemar hidrokarbon dengan variasi konsentrasi Tween 80 :				
		0%				10
		0,25%				28
		0,5%				43
		0,75%				50
		1,0%		57		
		1,25%		69		

2.10 Pertambangan Minyak Bumi Wonocolo, Bojonegoro

Pertambangan minyak bumi rakyat Wonocolo adalah salah satu pertambangan minyak bumi tradisional yang dikelola rakyat di Kabupaten Bojonegoro. Desa Wonocolo terletak di Kecamatan Kedewan, Kabupaten Bojonegoro. Secara geografis terletak di perbatasan antara provinsi Jawa Timur dan Jawa Tengah. Wilayah perbukitan mendominasi Desa Wonocolo. Desa ini mempunyai suhu udara yang rendah dan dikelilingi area hutan yang di sekelilingnya sudah hampir gundul. Terdapat beberapa pepohonan kecil hasil reboisasi beberapa waktu lalu. Sebelah Timur Wonocolo berbatasan dengan Desa Banyu Urip. Sebelah selatan berbatasan dengan Desa Ngantru, sebelah barat berbatasan dengan Desa Kedewan, dan sebelah Utara berbatasan dengan Desa Kali Gede. Luas wilayah Desa Wonocolo $\pm 140 \text{ km}^2$. Dihuni oleh 460 kepala keluarga atau 1913 jiwa (Naumi dan Trilaksana, 2015). Kondisi kawasan pertambangan minyak bumi rakyat di Wonocolo, Bojonegoro dapat dilihat pada Gambar 2.11.



Gambar 2. 11 Pertambangan Minyak Bumi Rakyat Wonocolo

Penambangan minyak tradisional dikarenakan di Desa Wonocolo terdapat banyak sumur tua peninggalan Belanda yang dimanfaatkan kembali pada tahun 1970-an. kenaikan harga minyak yang tinggi mengakibatkan kegiatan penambangan minyak

itu secara ekonomis menguntungkan. Proses kegiatan penambangan tersebut awalnya dilakukan secara tradisional, namun setelah tahun 1980-an menggunakan teknologi baru dengan menggunakan mesin diesel dan mobil bekas untuk menggerakkan pompa minyak. Secara ekonomis kegiatan penambangan minyak kurang menguntungkan masyarakat penambang, karena sistem pembagian yang kurang adil dan harga yang relatif murah. Namun apabila dibandingkan dengan usaha pertanian tetap lebih menguntungkan. Dampak sosial negatif dari usaha penambangan adalah adanya konflik internal masyarakat dan pencemaran lingkungan yang perlu mendapat perhatian dari pemerintah (Naumi dan Trilaksana, 2015). Pada kawasan pertambangan minyak bumi rakyat Wonocolo terdapat sejumlah 44 sumur dengan kapasitas produksi 25.771 L/hari (Handrianto *et al.*, 2012).

2.11 Penelitian Pendahuluan

Pada serangkaian penelitian ini sebelumnya telah dilakukan penelitian pendahuluan oleh peneliti terdahulu yaitu Barakwan (2017). Penelitian pendahuluan meliputi proses *co-composting* dalam penyisihan hidrokarbon pada tanah tercemar *crude oil*. Output dari penelitian pendahuluan tersebut yaitu komposisi optimum dalam proses *co-composting* yang menghasilkan penyisihan hidrokarbon terbesar dari tanah tercemar. Penelitian pendahuluan tersebut terdiri atas beberapa tahapan sebagai berikut.

2.11.1 Preparasi Bahan Co-Composting

a. Tanah Tercemar Crude Oil

Pada proses *co-composting* diambil tanah tercemar yang berasal dari pertambangan minyak Desa Kedawan Kecamatan Wonocolo. Sampel tanah diambil pada beberapa lokasi di pertambangan yaitu area penyulingan, area sumur dan jalur pengangkutan. Tanah selanjutnya dikompositkan untuk efisiensi waktu dan biaya analisis dan proses penyisihan hidrokarbon sehingga lebih aplikatif. Sebelumnya sampel tanah dari berbagai sumber dianalisis kandungan hidrokarbon dan dibandingkan dengan baku mutu hidrokarbon dalam tanah yang terdapat pada Lampiran 2 Keputusan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 128

Tahun 2003 yaitu sebesar 1%. Hasil analisis kadar hidrokarbon dari masing-masing titik lokasi dapat dilihat pada Tabel 2.3.

Kadar hidrokarbon tertinggi terdapat pada sampel tanah di titik penyulingan karena penggunaan alat penyulingan yang sederhana sehingga menimbulkan banyak tumpahan minyak dan adanya akumulasi tumpahan minyak pada galian tanah untuk proses penyulingan. Oleh karena itu kadar hidrokarbonnya sebesar 12,31%. Disisi lain kadar hidrokarbon pada jalur pengangkutan sebesar 4,35% karena kejadian tumpahan minyak lebih sedikit dan pola pencemaran berupa linear.

Tabel 2. 3 Kandungan Hidrokarbon pada Tanah Tercemar

No	Jenis Tanah	Kadar Hidrokarbon (%)	
		Sampel Tanah	Baku Mutu
1	Tanah Kontrol	0,54	1
2	Tanah Penyulingan	12,31	1
3	Tanah Pengangkutan	4,35	1
4	Tanah Sumur	8,34	1
5	Tanah Komposit	6,05	1

(*) Kepmen LH No. 128 Tahun 2003
(Barakwan, 2017).

Dengan demikian dilakukan perncampuran sampel tanah tercemar dengan pengambilan tanah masing-masing sebesar 1 kg dari tanah area sumur, area penyulingan dan jalur pengangkutan. Selanjutnya sampel komposit dianalisis untuk mengetahui beberapa parameter pada tanah tercemar crude oil seperti suhu, Kadar air, pH, N-total, C-organik, Rasio C/N, Populasi bakteri dan volume udara pada tanah sebagaimana pada Tabel 2.4.

Tabel 2. 4 Karakteristik Komposit Tanah Tercemar *Crude Oil*

Parameter	Satuan	Tanah Tercemar (T100)
Suhu	°C	33,0
Kadar Air	%	60
pH	-	5
N-total	%	0,599
C-organik	%	14
Rasio C/N	-	23,37
Hidrokarbon	%	0,5

(Barakwan, 2017).

b. Sampah Organik *Biodegradable*

Pelaksanaan *co-composting* tanah tercemar *crude oil* menggunakan sampah *biodegradable* sebagai bahan baku dalam bentuk sampah kebun dari Rumah Kompos ITS dan sampah rumen sapi lokal dari Rumah Potong Hewan Pegirian. Sampah *biodegradable* ini dianalisis karakteristiknya dan dikondisikan untuk mengoptimalkan proses *co-composting* melalui pengaturan kadar air, pencacahan dan pengayakan. Karakteristik awal dari sampah *biodegradable* tersebut dapat dilihat pada Tabel 2.5.

Tabel 2. 5 Karakteristik Sampah Organik Biodegradable

Parameter	Satuan	Sampah Kebun	Rumen Sapi Lokal	Sampah Kebun + Rumen Sapi Lokal
Suhu	°C	35,0	35,0	35,5
Kadar Air	-	54	57,5	62,5
pH	%	5,4	5,3	0,0119
N-Nitrat	%	0,0212	0,0209	0,00066
N-Nitrit	%	0,00023	0,00061	1,894
TKN	%	1,994	1,669	1,894
N-Total	%	2,015	1,690	1,907
C-Organik	-	42,55	8	22,86
Rasio C/N		21,12	22,48	11,99

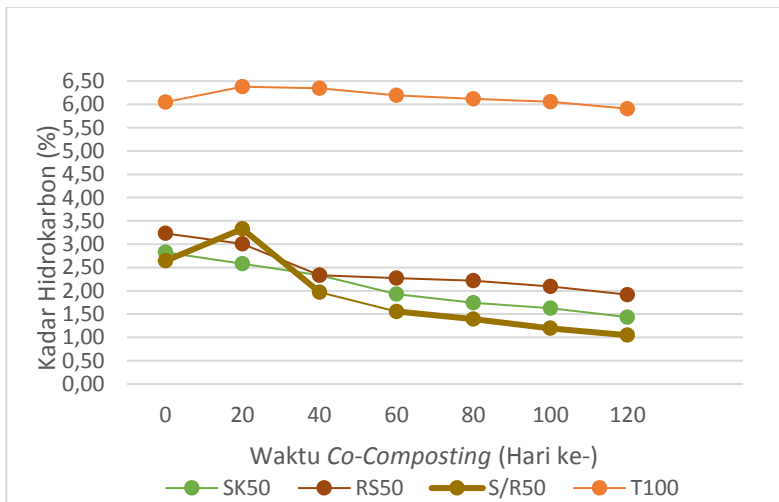
(Barakwan, 2017).

2.11.2 Pelaksanaan *Co-Composting*

Co-composting tanah tercemar dilakukan dengan menggunakan reaktor berupa wadah kaca berdiameter 14,9 cm dan tinggi 28 cm yang berisi variasi *co-composting* aerobik meliputi komposisi tanah tercemar dan sampah organik *biodegradable*. Selama proses *co-composting* dilakukan kontrol dan analisis terhadap beberapa parameter meliputi suhu, kadar air, pH, N-nitrat, N-nitrit, TKN, N-total, C-organik, rasio C/N, kadar hidrokarbon dan total populasi bakteri serta volume udara pada reaktor. Hal ini menunjukkan pengukuran secara lengkap parameter selama proses *co-composting* untuk mengetahui kondisi proses *co-composting* aerobik.

Suhu reaktor *co-composting* berada pada suhu ruang yaitu 34°C dalam rentang suhu mesofilik (25-45°C). Sedangkan kadar air dikondisikan agar proses *co-composting* sebesar 50-60%. Hasil pengukuran suhu menunjukkan pH proses *co-*

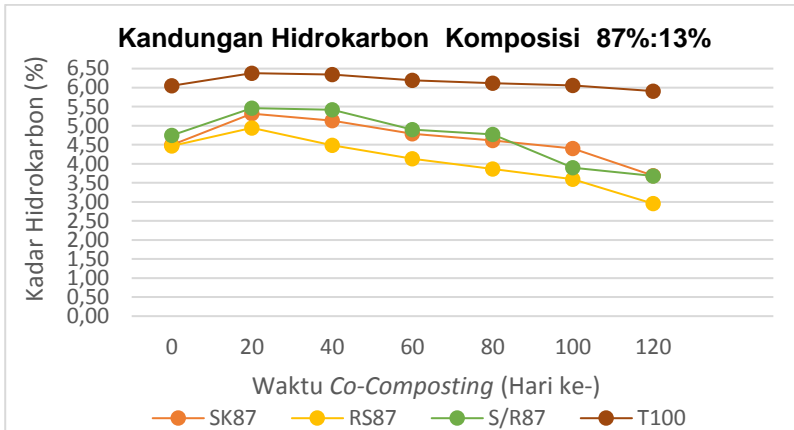
composting berkisar pada rentang 5-5,4 dapat dikatakan kategori asam yang diakibatkan oleh adanya pembentukan asam organik dari penguraian C-organik pada tanah tercemar selama *proses co-composting*. Kandungan hidrokarbon dianalisis pada hari ke-0, 20, 40 dan 60 pada masing-masing reaktor sehingga dapat diketahui penyisihan hidrokarbon dari masing-masing variasi yaitu 87%:17%, 50%: 50% dan 75%:25%. Berdasarkan variasi komposisi penggunaan jenis sampah organik *biodegradable* pada berbagai reaktor maka kandungan hidrokarbon hasil analisis dengan komposisi tanah tercemar dibanding dengan sampah (T/S) tersaji pada Gambar 2.12.



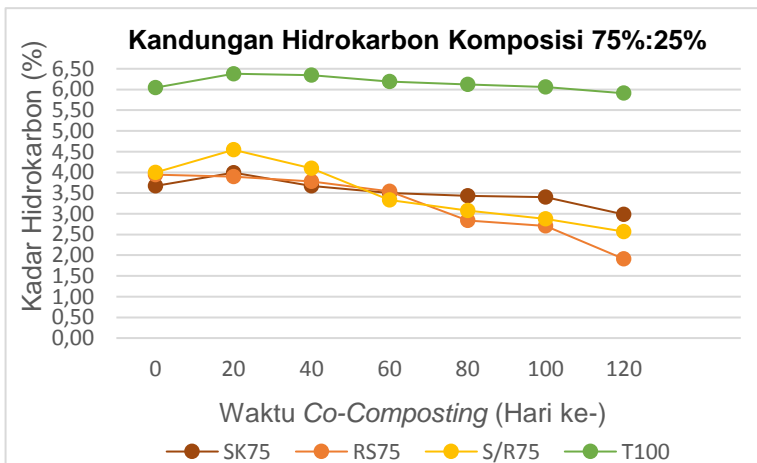
Gambar 2. 12 Kandungan Hidrokarbon pada Variasi 50:50
(Barakwan, 2017)

Pada hasil analisis tampak pada hari ke-20 proses *co-composting*, persentase hidrokarbon mengalami kenaikan. Menurut Mizwar dan Trihadiningrum (2016), keberadaan senyawa CHAL pada proses *co-composting* menjadi penyebab penyisihan hidrokarbon tersebut karena perannya dalam meningkatkan pemisahana hidrokarbon dari partikel tanah pada hari ke-20 sebesar 22,58%. Selanjutnya grafik hasil analisis hidrokarbon dengan rasio komposisi 87%:13% dan

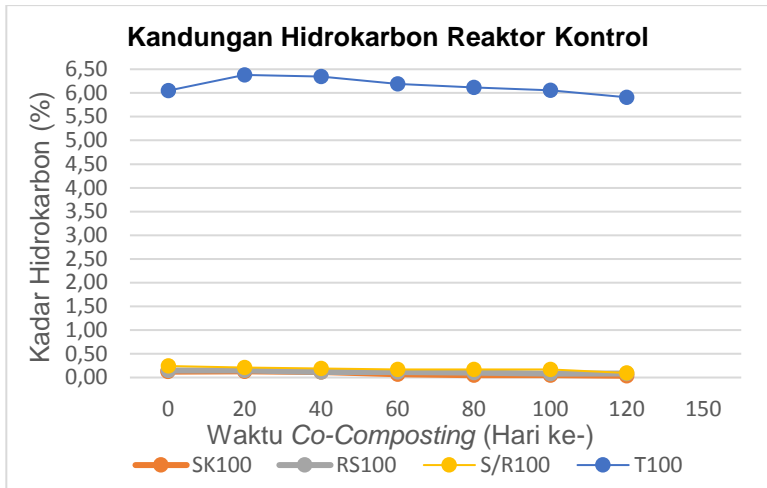
75%:25% terdapat pada Gambar 2.13 dan Gambar 2.14. Sedangkan sebagai perbandingan yaitu analisis hidrokarbon pada reaktor kontrol terdapat pada Gambar 2.15.



Gambar 2. 13 Kandungan Hidrokarbon Variasi 87:13
(Barakwan, 2017)



Gambar 2. 14 Kandungan Hidrokarbon pada Variasi 75:25
(Barakwan. 2017).



Gambar 2. 15 Kandungan Hidrokarbon pada Tanah Kontrol
(Barakwan, 2017)

2.11.3 Komposisi Optimum *Co-composting*

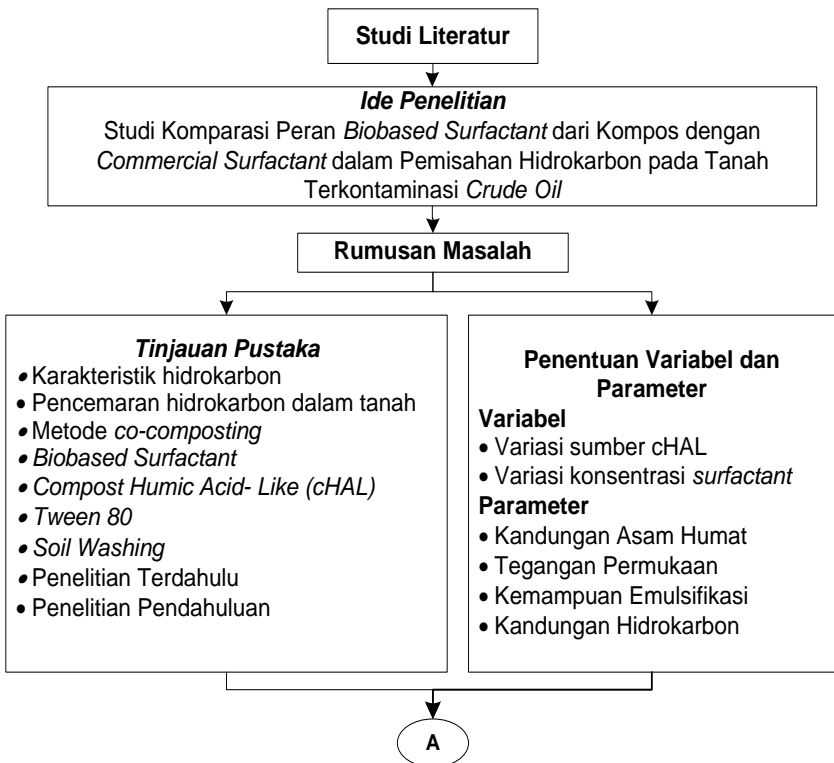
Pengujian dan analisis ANOVA *Two way* data pada pengaruh komposisi dan jenis sampah organik terhadap penyisihan hidrokarbon dalam proses *co-composting* tanah tercemar *crude oil* yang diolah dengan perangkat lunak yaitu Minitab 16. Mengacu pada hasil uji statistik Anova *Two Way* didapatkan hasil bahwa tidak ada pengaruh secara signifikan pada variasi jenis sampah dan variasi komposisi tanah dan sampah serta interaksi antara variasi jenis sampah dan variasi komposisi tanah dan sampah terhadap penyisihan hidrokarbon. Selain itu hasil uji statistik tersebut menunjukkan bahwa kadar hidrokarbon terkecil yaitu pada rasio komposisi tanah dan sampah organik *biodegradable* sebesar 50:50.

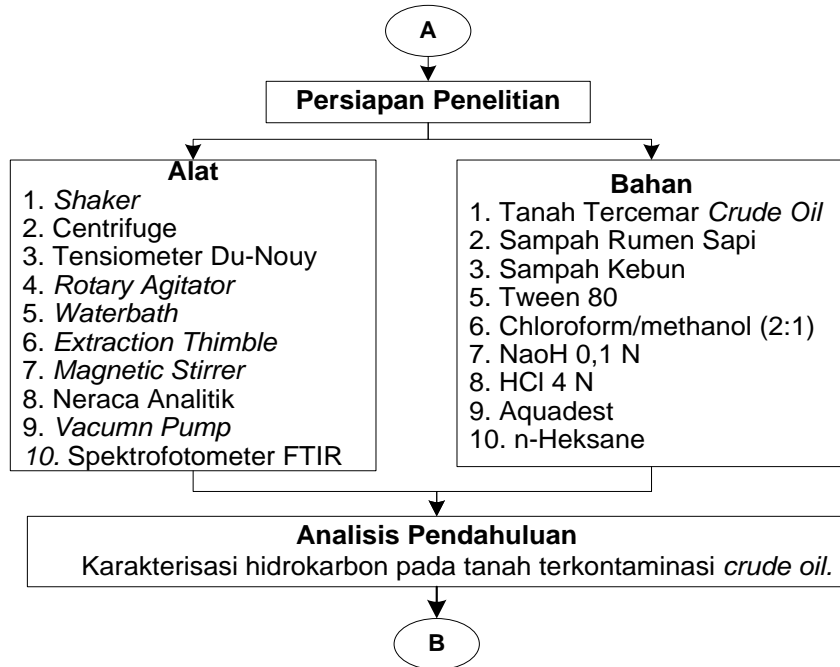
BAB 3

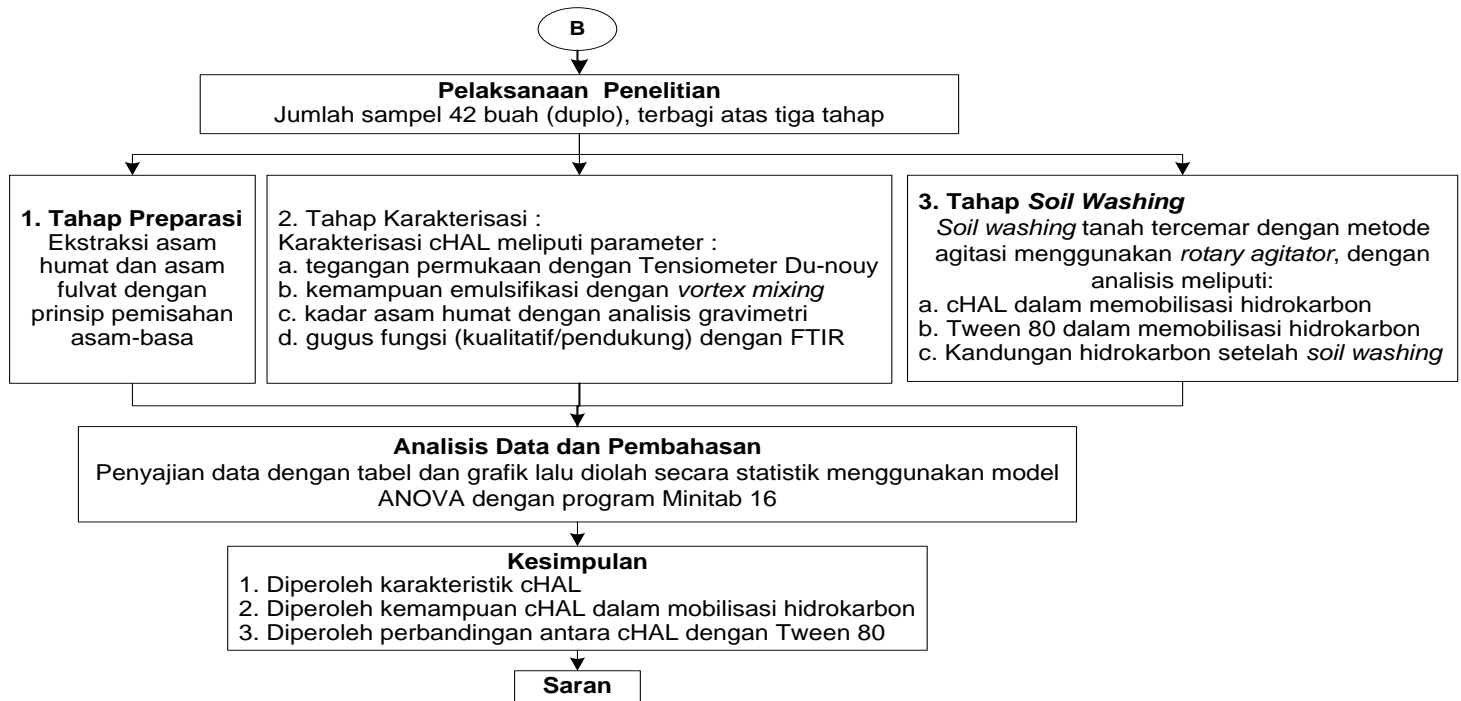
METODE PENELITIAN

3.1 Kerangka Penelitian

Kerangka penelitian yaitu suatu gambaran awal atau skematik tahap-tahap penelitian. Melalui adanya kerangka penelitian akan memudahkan pelaksanaan penelitian dan penyusunan laporan serta dapat mengetahui hal-hal yang berkaitan dengan penelitian agar tujuan penelitian dapat tercapai dan kemungkinan terjadinya kesalahan atau faktor penghambat dapat diminimalisir. Kerangka penelitian ini disajikan dalam bentuk diagram alir dapat dilihat pada Gambar 3.1







Gambar 3. 1 Skema Penelitian

3.2 Tahapan Penelitian

Penyajian tahapan penelitian sistematis akan membantu pelaksanaan penelitian berdasarkan prosedur yang berlaku sehingga mampu menjawab tujuan penelitian. Penelitian yang akan dilakukan terdiri dari beberapa tahapan yang tersusun secara sistematis untuk membantu pelaksanaannya sesuai dengan prosedur sehingga mampu menjawab tujuan penelitian. Adapun tahapan-tahapan penelitian ini yaitu:

3.2.1 Ide Penelitian

Ide penelitian ini salah satunya dilatarbelakangi oleh tingginya potensi resiko yang ditimbulkan oleh hidrokarbon terhadap kesehatan manusia dan pencemaran lingkungan sehingga membutuhkan upaya penyisihan hidrokarbon pada tanah tercemar *crude oil* yang efektif, mudah diaplikasikan, dan efisien. Metode yang dapat dipilih dalam penyisihan hidrokarbon yaitu *co-composting* sebagai salah satu proses biologis dalam penyisihan hidrokarbon.

Dalam proses penyisihan hidrokarbon dengan metode *co-composting* dihasilkan suatu substrat yang disebut *compost humic acid like* (cHAL) yang potensial sebagai *biobased surfactant*. Beberapa penelitian telah menguji adanya kandungan cHAL pada kompos alami dan substrat organik lainnya. Hal ini menjadi ide perlunya dilakukan penelitian mengenai karakteristik cHAL dan potensinya sebagai *biobased surfactant* pada proses pemisahan hidrokarbon di tanah tercemar *crude oil* sehingga hidrokarbon akan lebih *bio-avaible* bagi mikroorganisme.

3.2.2 Studi Literatur

Studi literatur dalam bentuk rujukan atau referensi yang peneliti gunakan untuk mengumpulkan informasi yang mendukung dan memperkuat hasil analisis penelitian. Tinjauan pustaka juga meningkatkan pemahaman mengenai metode penelitian yang akan digunakan. Adapun sumber referensi dalam penyusunan tinjauan pustaka ini meliputi jurnal penelitian internasional dan nasional, *textbook*, dan artikel ilmiah yang berhubungan dengan penelitian ini.

3.2.3 Persiapan Alat dan Bahan

Alat yang digunakan dalam penelitian ini yaitu:

1. *Shaker*
2. *Centrifuge*
3. Tensiometer Du-Nouy
4. *Rotary Agitator*
5. *Waterbath*
6. *Extraction Thimble*
7. Magnetic Stirrer
8. Neraca Analitik
9. *Vacumn Pump*
10. Spektrofotometer FTIR

Bahan yang digunakan pada penelitian ini meliputi:

1. Tanah Tercemar *Crude Oil*
2. Sampah Rumen Sapi
3. Sampah Kebun
5. Tween 80
- 6.. Chloroform/methanol (2:1)
7. NaoH 0,1 N
8. HCl 6 N
9. *Aquadest*
10. n-Heksane

3.2.4 Sampling Tanah Tercemar *Crude Oil*

Sampel tanah tercemar *crude oil* yang digunakan diambil dari area pertambangan minyak bumi rakyat Wonocolo, Bojonegoro.

A. Penentuan Titik *Sampling* Tanah

Penentuan lokasi atau titik pengambilan direpresentasikan dari kegiatan pertambangan rakyat. Pengambilan sampel tanah tercemar *crude oil* dilakukan pada 3 tempat produksi minyak bumi yaitu area sekitar sumur minyak, area penyulingan, dan jalur pengangkutan. Selain itu juga dilakukan pengambilan tanah kontrol yang tidak tercemar *crude oil* sebagai pembanding dan analisis struktur tanah asli. Penentuan titik pengambilan sampel tersebut dilakukan secara *purposive sampling* berdasarkan jarak dari titik pertambangan minyak bumi. Berikut penentuan titik sampling berdasarkan lokasi pengambilannya.

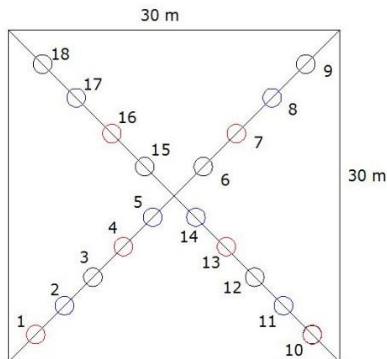
1. Pengambilan di Sumur Minyak

Menurut Margesin *et al.* (2005), pengambilan sampel tanah di sekitar sumur minyak dilakukan dengan

menggunakan pola diagonal. Pola diagonal digunakan dalam pengambilan sampel tanah di sekitar sumber pencemar berupa titik poin yaitu sumur minyak. Pola diagonal dalam pengambilan sampel tanah digunakan untuk pemantauan pencemaran tanah dalam jangka panjang yang disebabkan oleh kegiatan manusia. Pertama-tama dipilih area di sekeliling sumur minyak yang representatif dengan pola persegi yaitu seluas 1.000 m². Kemudian area ini dibagi menjadi 4 persegi yang lebih kecil masing-masing seluas 250 m². Kemudian dibuat pola diagonal di dalam persegi. Selanjutnya disiapkan 3 sampel komposit sesuai dengan langkah berikut ini:

- Mengkompositkan *single* sampel pada posisi 1, 4, 7, 10, 13, dan 16 sebagai sampel komposit 1
- Mengkompositkan *single* sampel pada posisi 2, 5, 8, 11, 14, dan 17 sebagai sampel komposit 2
- Mengkompositkan *single* sampel pada posisi 3, 6, 9, 12, 15, dan 18 sebagai sampel komposit 3

Sampling pola diagonal dapat dilihat pada Gambar 3.2.



Gambar 3. 2 Ilustrasi Sampling Pola Diagonal

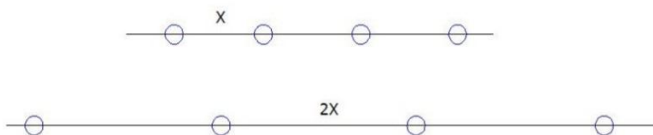
2. Pengambilan di Area Penyulingan

Margesin *et al.* (2005) menjelaskan pengambilan sampel tanah di area penyulingan dilakukan dengan menggunakan *random sampling* atau pengambilan sampel tanah secara acak. *Random sampling* digunakan dalam pengambilan sampel tanah di area penyulingan

karena sumber pencemaran dari area penyulingan tidak berupa titik namun berupa area penyulingan dengan luas dan panjang tertentu. *Random sampling* juga digunakan karena jarak antara satu area penyulingan dengan yang lain relatif dekat kurang dari 25 meter sehingga tidak mungkin dibuat pola diagonal sampling. Pada area penyulingan diambil 3 titik sampling secara acak, kemudian masing-masing sampel dikompositkan menjadi satu sampel baru. Sampel komposit kedua juga diambil dari 3 titik sampling secara acak kemudian dikompositkan menjadi satu sampel baru sehingga ada 2 sampel komposit dari area penyulingan.

3. Pengambilan di Jalur Pengangkutan

Margesin *et al.* (2005) menjelaskan pengambilan sampel tanah pada jalur pengangkutan dilakukan dengan menentukan titik sampling di sepanjang jalur pengangkutan dengan membuat struktur garis-garis atau metode *sampling along linear source*. Metode ini digunakan karena kontaminasi yang terjadi pada jalur pengangkutan mengikuti struktur garis yang disebabkan oleh tumpahan minyak saat diangkut atau kebocoran pipa. Pada jalur pengangkutan diambil 2 komposit sampel tanah yang masing-masing dicampur dari 4 titik sampling yang berbeda. Ada 2 struktur garis paralel dalam pengambilan sampel tanah. Setiap satu struktur garis terdapat 4 titik sampling yang kemudian dikomposit menjadi satu sampel baru. Pola *sampling along a linear source* dapat dilihat pada Gambar 3.3.



Gambar 3.3 Ilustrasi *Sampling Along A Linear Source*

Peta lokasi pengambilan sampel tanah tercemar *crude oil* di pertambangan minyak bumi rakyat Desa Wonocolo, Kecamatan Kedewan, Kabupaten Bojonegoro dapat dilihat pada Gambar 3.4

B. Metode Sampling

Pengambilan sampel tanah dilakukan dengan cara manual menggunakan alat bantu berupa cangkul dan sekop. Sampel yang diambil adalah lapisan tanah atas atau permukaan (*top soil*) pada kedalaman 0-30 cm karena apabila pada tanah permukaan mengandung hidrokarbon maka kadar hidrokarbon dalam tanah tersebut tinggi (Sayara *et al.*, 2010). Pengambilan manual yaitu dilakukan dengan penggalian *top soil* hingga mencapai kedalaman 20 cm. Penggalian dilakukan di keseluruhan titik yang telah ditentukan. Tanah hasil penggalian inilah yang digunakan sebagai bahan penelitian.

Berdasarkan ketiga sumber sampling didapatkan jumlah total sampel komposit tanah tercemar adalah 7 sampel tanah tercemar *crude oil* yang terdiri dari: 3 sampel komposit sumur minyak, 2 sampel komposit dari area penyulingan, dan 2 sampel komposit dari jalur pengangkutan. Metode komposit merupakan pengambilan sampel dari dua reaktor yang mengalami perlakuan sama dan dicampur hingga menjadi satu sampel komposit baru yang merupakan representatif dari sampel tanah tercemar. Pada penelitian ini tanah dari masing-masing titik pengambilan sampel tersebut baru dicampur dan diaduk hingga homogen dan menjadi satu sampel baru (komposit) setelah analisis ayakan. Pengkompositan sampel tanah pada penelitian ini bertujuan untuk mengurangi biaya analisis, untuk menggambarkan konsentrasi rata-rata suatu zat atau substansi dalam lapisan tanah, dan memudahkan pada pengaplikasian untuk remediasi lahan terkontaminasi hidrokarbon (Margesin *et al.*, 2005).

C. Perlakuan Tanah Hasil Sampling

Dalam proses pengambilan dan pasca pengambilan sampel tanah tercemar ketentuan preparasi yang dilakukan meliputi sebagai berikut.

- a. Pewadahan sampel tanah tidak boleh menggunakan bahan plastik. Setelah itu sampel tanah dimasukkan ke dalam karung yang bagian dalamnya telah dilapisi dengan kain menggunakan sekop. Hal ini dilakukan untuk meminimalisir terjadinya reaksi antara *phthalate esters* dengan hidrokarbon lain dari plastik (US-EPA, 2007).

- b. Tanah dari masing-masing titik pengambilan sampel diayak dengan saringan 10 mesh (2 mm) untuk mendapatkan ukuran partikel ≤ 2 mm dan memisahkan bahan pengotor seperti batu, kerikil, dan sampah serta untuk memperluas luas permukaan tanah sehingga proses *co-composting* berjalan lebih cepat dan efektif (Sayara *et al.*, 2010). Pelaksanaan analisis ayakan sampel tanah tercemar *crude oil* di Laboratorium Mekanika Tanah, Jurusan Teknik Sipil, FTSP-ITS.
- c. Pengawetan sampel tanah tercemar *crude oil* dilakukan dengan cara menyimpan sampel tanah di dalam lemari pendingin dengan suhu 4°C hingga sampel digunakan (Sayara *et al.*, 2010). Perlakuan ini untuk menjaga sampel agar tidak rusak, tetap bersifat representatif, dan sifat asli sampel tidak berubah. Pada suhu 4°C aktivitas dan pertumbuhan mikroorganisme berhenti sehingga kandungan dalam sampel tanah tidak mengalami perubahan.

3.2.5 Analisis Pendahuluan

Penentuan karakteristik awal tanah tercemar *crude oil* dilakukan di laboratorium dengan metode gravimetri untuk mengetahui beberapa parameter yang diukur. Uji kadar awal hidrokarbon, kadar air, suhu, pH yang dilakukan di Laboratorium Limbah Padat dan B3, Jurusan Teknik Lingkungan, FTSP-ITS. Hasil dari penelitian pendahuluan ini akan dijadikan sebagai acuan dasar karakteristik awal tanah terkontaminasi *crude oil* sebelum mendapat perlakuan *co-composting* maupun *soil washing*.

3.2.6 Pelaksanaan Penelitian

Pada penelitian ini dilakukan dalam bentuk penelitian skala laboratorium dengan dua faktor rancangan (variasi) yang meliputi sumber substrat CHAL dan konsentrasi *surfactant*. Sumber CHAL pada penelitian ini terdiri atas komposisi campuran T/L (rasio tanah tercemar hidrokarbon dengan limbah sumber kompos) optimum dalam proses penyisihan hidrokarbon yang diperoleh dari penelitian sebelumnya, sampah kebun dan sampah rumen sapi. Pemilihan sampah kebun dan sampah rumen sapi berdasarkan atas kandungan lignin yang besar pada sumber tersebut. Umur *co-*

composting dalam pengambilan sumber cHAL terbagi menjadi empat sampel untuk analisis yaitu hari (H) ke-0, H-20, H-40, dan H-60. Penentuan waktu ini dilakukan berdasarkan asumsi bahwa pembentukan cHAL yang pada prosesnya terdiri dari asam humat dan fulvat terjadi hingga hari ke-60 sebelum terbentuk substrat humin, yaitu dengan asumsi bahwa pada hari ke-20 asam fulvat terbentuk optimum, pada hari ke-40 asam humat terbentuk optimum dan pada hari ke-60 telah terbentuk humus (*humin*).

Hasil dari cHAL dari berbagai variasi sumber akan dibandingkan dengan *surfactant commercial* yaitu Tween 80 dengan variasi volume penambahan. Tween 80 dipilih karena telah lazim digunakan sebagai pengemulsi dalam remediasi oleh pencemaran hidrokarbon. Variasi volume penambahan Tween 80 yaitu 0; 0,5; 1; 1,5; 2% terhadap total sampel karena berdasarkan penelitian sebelumnya penambahan Tween 80 dimana pada penambahan 2% menghasilkan efisiensi pemisahan hidrokarbon paling tinggi. Selengkapnya tabel variasi penelitian dengan dua kali pengulangan (duplo) pada Tabel 3.1.

Tabel 3. 1 Variasi Sumber cHAL dan Konsentrasi *Surfactant*

Variasi	Faktor Rancangan		Kode	Jumlah
	Sumber	Umur Co- Composting (hari)/		
		% <i>Surfactant</i>		
Sumber cHAL	Rasio	0 hari	T/S (0)	2
	Tanah/Sampah	20 hari	T/S (20)	2
	Komposisi	40 hari	T/S (40)	2
	Optimum	60 hari	T/S (60)	2
	Sampah	0 hari	SR (0)	2
		20 hari	SR (20)	2
		40 hari	SR (40)	2
		60 hari	SR (60)	2
	Rumen Sapi	0 hari	SK (0)	2
		20 hari	SK (20)	2
		40 hari	SK (40)	2
		60 hari	SK (60)	2
	Sampah Kebun	0 hari	TT (0)	2
		20 hari	TT (20)	2
		40 hari	TT (40)	2
		60 hari	TT (60)	2

Variasi	Faktor Rancangan		Kode	Jumlah
	Sumber	Umur Co-Composting (hari)/ %Surfactant		
		60 hari		
Commercial Surfactant	Tween 80	0	TT (60)	2
		0,5	TW (0)	2
		0,5	TW (0,5)	2
		1	TW (1)	2
		1,5	TW (1,5)	2
		2	TW (2)	2
		2,5	TW (2,5)	2
		3	TW (3)	2
		Jumlah Total Sampel		46

Penelitian yang akan dilakukan terbagi 3 (tiga) tahap untuk mempermudah pencapaian tujuan. Pada awal penelitian dilakukan penelitian pendahuluan yang bertujuan untuk menentukan karakteristik tanah terkontaminasi *crude oil* dan dilakukan proses *co-composting* terhadap sumber cHAL. Analisis pendahuluan sebagai tahap awal penelitian untuk menentukan karakteristik *crude oil* pada tanah di lokasi pertambangan minyak bumi rakyat Wonocolo dan besarnya cHAL pada sumber kompos yang akan digunakan untuk proses *co-composting*. Pada analisis pendahuluan parameter yang dianalisis yaitu besarnya hidrokarbon. Melalui analisis pendahuluan akan didapatkan karakteristik awal kontaminasi *crude oil* yang akan digunakan sebagai data awal kandungan hidrokarbon pada tanah tercemar hidrokarbon. Sedangkan selama proses *co-composting* dilakukan kontrol terhadap kadar air, pH, suhu dan sistem aerasi manual agar tetap pada kondisi aerobik.

Selanjutnya pada percobaan tahap I dilakukan untuk menentukan karakteristik cHAL pada *co-composting* sumber cHAL selama 60 hari dengan penambahan tanah tercemar *crude oil*. Selain itu juga dilakukan ekstraksi cHAL tersebut. Percobaan tahap II bertujuan untuk menentukan kemampuan cHAL sebagai *biobased surfactant* dalam membantu pemisahan hidrokarbon dari ikatan partikel tanah dan perbandingannya dengan *surfactant*

commercial. Selengkapnya tahapan penelitian analisis yang dilakukan yaitu sebagai berikut.

A. Tahap I Ekstraksi cHAL

Produksi cHAL untuk percobaan tahap I saat proses penyisihan hidrokarbon dengan metode *co-composting* yaitu selama 60 hari pertama proses *co-composting* tanah terkontaminasi *crude oil* berlangsung. Sampel dari sumber cHAL diambil pada periode waktu yang telah ditentukan kemudian disimpan dalam pendingin (*refrigerator*) dengan suhu 4°C untuk menjaga agar tidak terjadi perubahan akibat aktivitas bakteri. Selanjutnya sampel cHAL diekstrak untuk mendapatkan kandungan asam humat dan asam fulvat dengan metode ekstraksi asam basa seperti yang dilakukan oleh Barje *et al.* (2012) dan Kulikowska *et al.* (2015) dalam penelitiannya.

Setelah didapatkan ekstrak cHAL maka dapat dilakukan analisis karakterisasi cHAL untuk mengetahui karakteristiknya sebagai salah satu sumber *biobased surfactant* dengan parameter yang meliputi Tabel 3.2 berikut ini.

Tabel 3. 2 Metode Analisis Parameter Penelitian

No	Parameter	Metode Analisis	Referensi
1	Tegangan permukaan	Tensiometer <i>Du-Nouy</i>	ASTM (2000)
2	Kemampuan emulsifikasi	<i>Vortex Mixing</i>	Pruthi dan Cameotra (1997)
3	Kandungan asam humat	Gravimetri	IHSS (1996) dan Kulikowska <i>et al.</i> (2015)

Data pendukung adanya senyawa mirip asam humat yang menunjukkan sifat hidrofobik dan hidrofilik dari cHAL maka dilakukan uji spektrofotometri FTIR untuk mengetahui gugus fungsi cHAL secara kualitatif.

B. Tahap II Soil Washing

Tahap II dilakukan untuk menentukan kemampuan pemisahan hidrokarbon oleh ekstrak cHAL dari sumber cHAL dan perbandingannya dengan *Tween 80*. Penelitian dilakukan melalui *soil washing* dengan metode agitasi. Hidrokarbon yang terpeisahkan kemudian di ekstrak menggunakan metode gravimetri. Dalam uji coba ini dilakukan perbandingan kemampuan pemisahan hidrokarbon oleh cHAL dan *commercial surfactant* yaitu

Tween 80. Tween 80 sebagai salah satu jenis *commercial surfactant* secara umum digunakan dalam beberapa penelitian terkait dengan remediasi lahan tercemar akan divariasikan konsentrasi penambahannya. Baik itu CHAL dari berbagai sumber maupun Tween 80 dengan berbagai konsentrasi akan mendapatkan perlakuan sama dalam *soil washing* terhadap tanah tercemar *crude oil*.

Dalam penelitian ini *soil washing* dengan agitasi dipilih karena cocok dengan jenis sampel yang digunakan yaitu sampel tanah tercemar dengan tekstur liat pasir berdebu yang mempunyai ikatan kuat partikel tanah dengan hidrokarbon. Salah satu faktor yang mempengaruhi kinerja formulasi *biobased surfactant* dan enzim dalam kelarutan adalah agitasi. Menurut Michel (2010), agitasi dalam *soil washing* adalah metode pencampuran yang digunakan untuk meningkatkan *bioavailability*.

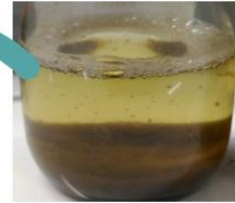
Langkah pada analisis *soil washing* terhadap CHAL dan Tween 80 dilakukan dengan proses agitasi beserta penambahan tanah tercemar *crude oil* yang telah diukur kandungan awal hidrokarbonnya. Rasio optimum antara tanah tercemar dengan *surfactant* dalam *soil washing* paling optimum yaitu 1:10 dalam bentuk massa(gram)/volume(mL). Penelitian Hadrah (2011) menunjukkan dengan kenaikan waktu agitasi dapat meningkatkan kelarutan *oil sludge* (lumpur minyak) sehingga didapatkan waktu optimum agitasi dalam *rotary agitator* pada 20 jam dengan kecepatan 200 rpm. Agitasi ini menggunakan alat *rotary agitator*. Ilustrasi agitasi pada proses *soil washing* dapat dilihat pada Gambar 3.5 berikut.

3.3.1 Uji Parameter

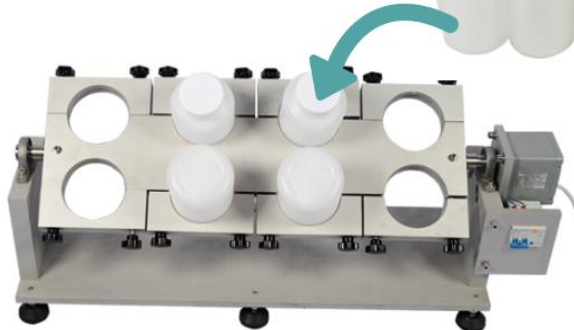
Uji parameter dilakukan di Laboratorium Limbah Padat dan B3 Teknik Lingkungan ITS dan Laboratorium Terpadu Departemen Biologi, Universitas Airlangga. Pada tahap pendahuluan dilakukan analisis gravimetri terhadap kadar hidrokarbon tanah. Pada tahap I dan II dilakukan analisis karakteristik dan kemampuan CHAL sebagai *biobased surfactant* yang terbentuk selama proses *co-composting*. Analisis yang dilakukan pada tahap I dan II adalah kadar hidrokarbon, tegangan permukaan, dan kemampuan emulsifikasi. Metode dan tata cara analisis yang digunakan untuk berbagai parameter tersebut dapat dilihat selengkapnya pada Tabel 3. dan secara rinci pada Lampiran A.



Tanah Tercemar *Crude Oil* (5 gram)



Ekstrak cHAL (50 mL)



- ☐ Agitasi selama 20 jam
- ☐ Kecepatan : 200 rpm
- ☐ Analisis kandungan hidrokarbon sebelum dan sesudah agitasi.

http://www.ylklab.com/prod_img/201641417249.jpg

Gambar 3. 5 Ilustrasi Agitasi Pada Proses *Soil Washing*

Tabel 3. 3 Metode Analisis Penelitian

Parameter	Waktu Sampling	Metode Analisis	Referensi
Analisis Pendahuluan			
Hidrokarbon	Awal Penelitian	<i>Soxhlet</i> dan gravimetri	APHA-AWWA dan WEF (2005)
Tahap I			
a. Ekstraksi cHAL	Awal penelitian (hari ke-0) dan setiap hari ke- 20, ke-40, dan ke-60	Ekstraksi Alkalinitas	Barje <i>et al.</i> (2012) dan Kulikowska <i>et al.</i> (2015)
b. Tegangan permukaan	Awal penelitian (hari ke-0) dan setiap hari ke- 20, ke-40, dan ke-60	Tensiometer Du-Nouy	ASTM (2000)
c. Kadar cHAL	Awal penelitian (hari ke-0) dan setiap hari ke- 20, ke-40, dan ke-60	Gravimetri	IHSS (1996) Kulikowska <i>et al.</i> (2015)
d. Kemampuan emulsifikasi	Awal penelitian (hari ke-0) dan setiap hari ke- 20, ke-40, dan ke-60	<i>Vortex mixing</i>	Pruthi dan Cameotra (1997)
Tahap II			
a. Soil washing	Selama penelitian	Agitasi	Hadrah (2015)
b. Hidrokarbon	Selama penelitian	<i>Soxhlet</i> dan gravimetri	APHA-AWWA dan WEF (2005)

3.3.2 Analisis Data

Pengaruh masing-masing variasi terhadap karakteristik cHAL pada pemisahan hidrokarbon dianalisis secara statistik dengan metode *analysis of variance* (ANOVA). Data penelitian terlebih dahulu diuji normalitas dan homogenitasnya. Uji normalitas data dilakukan dengan metode *Kolmogorov-Smirnov*. Metode ini sangat disarankan untuk uji normalitas data terutama untuk sampel kecil. Uji statistik *Shapiro-Wilk* menggunakan data dasar yang belum diolah dalam tabel distribusi frekuensi. Data hanya diurutkan untuk kemudian dikonversi ke dalam persamaan:

$$W = \frac{\left[\sum_{i=1}^n a_i (x_{n-i+1} - x_i) \right]^2}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (3-1)$$

a_i adalah nilai tabel koefisien *a Shapiro-Wilk* pada data ke- i , x_{n-i+1} adalah angka ke $n-i+1$ pada data, x_i adalah angka ke- i pada data, dan \bar{x} adalah nilai rata-rata data. Sementara itu, uji homogenitas data dilakukan dengan metode *Levene test*. Pada uji homogenitas dengan *Levene test*, data tidak harus berdistribusi normal namun harus kontinu. Statistik uji *Levene test* adalah:

$$L = \frac{(n-k) \sum_{i=1}^k n_i (m_i - m_{..})^2}{(k-1) \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^{n_i} (x_{ij} - m_i)^2} \quad (3-2)$$

k adalah banyaknya kelompok data, n adalah banyaknya data, m_i adalah median data pada kelompok ke- i , dan m adalah median untuk keseluruhan data. Apabila data tidak terdistribusi normal atau tidak homogen maka harus ditransformasikan terlebih dahulu hingga normal dan homogen. Transformasi data umumnya dilakukan dengan metode *Box-Cox*, yang dinyatakan dalam persamaan:

$$y = \frac{x^\lambda - 1}{\lambda} \quad \text{atau} \quad y = \ln(x) \\ \text{untuk} \quad \lambda = 0 \quad (3-3)$$

Nilai λ biasanya dicoba-coba antara -2 sampai dengan 2, hingga hasil transformasi memenuhi syarat distribusi normal dan homogenitas data.

Setelah data terbukti normal dan homogen, maka uji pengaruh dengan ANOVA dapat dilakukan. Berdasarkan jumlah variabel terikat pada masing-masing percobaan, maka analisis pengaruh setiap perlakuan terhadap cHAL dan Tween 80 pada hasil percobaan menggunakan metode ANOVA satu arah untuk menentukan peran kompos sebagai sumber *biobased surfactant* pada proses pemisahan hidrokarbon.

3.3.3 Kesimpulan dan Saran

Setelah dilakukan analisis dan pembahasan terhadap data selanjutnya menarik simpulan dan saran dari penelitian yang telah dilaksanakan. Kesimpulan berupa fakta hasil pengujian yang didapatkan melalui proses analisis dan pembahasan data, serta menjadi jawaban dari tujuan awal penelitian. Selain itu disajikan saran berupa ulasan yang ditujukan agar penelitian selanjutnya lebih baik.

BAB 4

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Karakteristik Sampel Tanah Tercemar *Crude Oil*

Uji karakteristik sampel tanah tercemar *crude oil* yang dilakukan meliputi karakteristik fisik dan kimia. Karakteristik fisik dilakukan analisis tekstur dan warna, sedangkan karakteristik kimia yang meliputi kelembaban, pH, serta kadar hidrokarbon yang terkandung di dalam tanah. Uji karakteristik ini menjadi dasar atau acuan awal sebelum dilakukan proses *soil washing* terhadap tanah tercemar.

4.1.1 Karakteristik Fisik

Sampel tanah tercemar di lokasi pertambangan minyak Desa Kedawan, Wonocolo, Bojonegoro secara fisik mempunyai warna coklat kehitaman sebagaimana pada Gambar 4.1. Warna kehitaman berasal dari kontaminasi tanah oleh *crude oil* dalam bentuk tumpahan minyak pada berbagai proses penambangan minyak. Sedangkan kelas tekstur tanah berupa lempung liat berdebu. Berdasarkan hasil analisis di Laboratorium Mekanika Tanah Jurusan Teknik Sipil ITS bahwa distribusi tekstur tanah meliputi 20% pasir, 56% debu dan 25% liat.



Gambar 4. 1 Sampel Tanah Tercemar *Crude Oil*

Menurut USEPA (1990) tanah yang terdiri dari pasir, *silt*, dan *clay* yang lebih kecil, dan tanah dengan kandungan humus cenderung mengandung kontaminan organik yang teradsorb dengan kuat yang umumnya tidak dapat diolah dengan baik jika hanya menggunakan pelarutan atau suspensi kontaminan pada larutan pencucian. Tanah tersebut dapat diperlakukan dengan mekanisme *soil washing* yang juga melibatkan pemisahan ukuran partikel dimana kontaminan dapat dipisahkan kedalam volume yang lebih kecil. Oleh karena itu untuk menunjang proses *soil washing* agar dapat berlangsung optimum dilakukan pengayakan terhadap sampel dan dipilih tanah hasil pengayakan dengan diameter 10 *mesh*.

4.1.2 Karakteristik Kimia

Karakteristik kimia dari sampel tanah tercemar *crude oil* yang dianalisis meliputi parameter pH, kelembaban, rasio C/N dan kandungan hidrokarbon. Hasil analisis parameter kimia bervariasi berdasarkan lokasi berlangsungnya kegiatan di penambangan minyak rakyat Desa Wonocolo yaitu pada lokasi sumur, kilang dan jalur transportasi. Hasil analisis karakteristik kimia tanah terdapat pada Tabel 4.1 berikut.

Tabel 4. 1 Analisis Parameter Kimia Tanah Tercemar

Parameter Kimia	Lokasi Sampling			
	Sumur	Jalur Pengangkutan	Kilang	Tanah Kontrol
Kelembaban (%)	63,33	27,50	47,50	40,00
pH	6,90	7,00	7,05	7,00
Rasio C/N	48,92	35,82	44,61	21,35
Hidrokarbon (%)	8,34	4,35	12,31	0,54

Berdasarkan hasil pengukuran pH sampel tanah relatif netral yaitu pada rentang 6-7. Mengacu pada karakteristik *top soil* pH tanah bersifat netral yaitu berada pada rentang 6-7 (Rahmawati, 2015). air hasil analisis sampel tanah tercemar sebesar 27,5 hingga 63,33%. Rasio C/N dari tanah tercemar paling besar terdapat pada lokasi sumur dan kilang yaitu sebesar 48,92 - 44,61. Hal tersebut salah satunya dipengaruhi oleh kandungan minyak bumi yang sangat tinggi, sementara minyak bumi pada dasarnya adalah senyawa hidrokarbon sehingga di dalamnya

terdapat rantai ikatan karbon dengan jumlah yang banyak (Cookson, 1995).

Parameter hidrokarbon tanah tercemar dianalisis di Laboratorium Teknologi Pengolahan Air Teknik Lingkungan ITS. Hasil analisis menghasilkan besar kandungan hidrokarbon sebanyak 3,89%. Besar kandungan tersebut apabila dibandingkan dengan baku mutu pada Lampiran 2 Keputusan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 128 Tahun 2003 sebesar 1%, maka tanah di lokasi pertambangan *crude oil* Wonocolo, Bojonegoro melebihi baku mutu sehingga tanah tersebut dinyatakan tercemar *crude oil* dari kegiatan pertambangan *crude oil* dan perlu dilakukan teknologi remediasi.

4.2 Peran cHAL dalam Pemisahan Hidrokarbon

Keberadaan asam humat pada ekstrak kompos (cHAL) yang terdiri dari sistem supramolekul yang kompleks interaksi hidrofobik dan hidrofilik (Buurman *et al.*, 2002; Piccolo, 2001; Piccolo, 2002; Simpson, 2002; Sutton dan Sposito, 2005; Wershaw, 1993). Karakteristik ini menunjukkan bahwa HAS memiliki sifat *amphiphilic*. Asam humat bertindak sebagai *biobased surfactant* yaitu mereka mampu menurunkan tegangan permukaan pada konsentrasi tinggi dan membentuk emulsi dengan kontaminan (Guetzloff dan Rice, 1994; Kleber *et al.*, 2007).

Melalui kemampuan menurunkan tegangan permukaan dan meningkatkan kemampuan emulsifikasi, cHAL akan memisahkan kontaminan hidrokarbon yang terikat kuat oleh partikel tanah. Gugus hidrofobik (lipofilik) pada cHAL berikatan dengan gugus hidrofobik pada hidrokarbon. Perlakuan agitasi akan mengakibatkan partikel hidrokarbon akan bergerak ke segala arah. Maka dengan adanya agitasi dan penambahan cHAL mengakibatkan hidrokarbon lebih mudah terlepas dari matriks tanah, sehingga hidrokarbon lebih *bio-available* bagi mikroorganisme pendegradasi hidrokarbon. Oleh karena itu, cHAL berperan penting dalam pemisahan hidrokarbon dari tanah supaya meningkatkan *bioavailability* hidrokarbon terhadap mikroorganisme pendegradasi.

4.3 Preparasi dan Ekstraksi cHAL

Ekstraksi *biobased surfactant* dilakukan dengan ekstraksi alkali dari beberapa sumber cHAL. Ekstraksi dilakukan saat proses

co-composting berlangsung terhadap sumber *biobased surfactant* yang meliputi Tanah Tercemar (TT), Rasio Tanah dan Sampah Optimum 50:50 (T/S), Sampah Kebun (SK) dan Sampah Rumen (SR). Waktu pengambilan sampel pada awal pengomposan (hari ke-0), hari ke-20, hari ke-40 dan hari ke-60.

Tahap mula sebelum ekstraksi dengan prinsip alkalinitas, sampel sumber *biobased surfactant* perlu dihilangkan dari pengotor dan pengganggu analisis seperti minyak, lemak, glukosa dan lain-lain. Oleh karena itu sebelumnya dilakukan preparasi sampel dengan pencucian menggunakan larutan chloroform/methanol (2:1) dengan tiga kali bilasan. Menurut Kulikowska *et al.*, (2012) chloroform/methanol mempunyai sifat sebagai pelarut bagi hidrofobik sehingga dengan pencucian ini dapat menghilangkan lemak dan minyak. Preparasi dilanjutkan dengan pencucian menggunakan aquades untuk menghilangkan pengotor bersifat polar yang dapat mengganggu analisis dan isolasi cHAL contohnya saponin.

Saponin adalah glikosida triterpenoid dan sterol. Saponin berasal dari bahasa latin “sapo” yang berarti sabun, diberi nama demikian karena sifatnya yang menyerupai sabun. Saponin adalah senyawa aktif permukaan yang kuat yang menimbulkan busa jika dikocok dalam air dan pada konsentrasi yang rendah sering menyebabkan hemolisis sel darah merah. (Robinson, 1995). Oesman *et al.* (2010) menyatakan bahwa saponin adalah senyawa polar yang keberadaanya dalam tumbuhan dapat diekstraksi dengan pelarut semi polar dan polar. Oleh karena itu, keberadaan saponin dari sampel telah dihilangkan dengan pencucian pelarut semipolar yang digunakan yaitu methanol dan pelarut polar yaitu aquades.

Ekstraksi secara alkalinitas untuk mendapatkan cHAL dilakukan dengan penambahan NaOH 0,1 dengan pengadukan agitasi dengan *shaker* selama 2 jam terhadap sampel. Hasil ekstrak NaOH yaitu berupa cairan *humic substance* berwarna kecoklatan yang berbeda-beda pada tiap sumber cHAL. Warna coklat pada hasil ekstrak ini salah satu indikasi adanya asam humat pada cairan *humic substance*. Hal ini dikarenakan asam humat salah satunya mempunyai sifat fisik berwarna kuning hingga coklat-hitam (Tan, 1993; Millar, 1959; Stevenson, 1982). *Humic substance* tersebut mengandung asam humat (cHAL) dan asam

fulvat. Pada prinsipnya asam humat mengendap pada kondisi asam, sedangkan asam fulvat tetap larut meskipun pada kondisi asam.

Pemisahan cHAL dengan asam fulvat (AF) yang terdapat pada *humic substance* dilakukan dengan pengasaman hingga pH 1 menggunakan HCl 6 N yang mengakibatkan terbentuknya gumpalan asam tidak stabil berwarna kecoklatan. Setelah dilakukan stabilisasi selama 24 jam pada suhu 4°C didapatkan fraksi cHAL 2000 dengan centrifugasi endapan dengan kecepatan 2000 rpm. Fraksi cHAL 2000 tersebut dalam bentuk endapan lembek yang bersifat *compact*. Sedangkan aroma ekstrak cHAL khas. Terdapat perbedaan warna antara *humic substance*, cHAL dan AF pada proses ekstraksi, perbedaannya disajikan pada Tabel 4.2 serta secara visual terdapat pada Gambar 4. 2

Tabel 4. 2 Perbandingan Warna HS, AF dan cHAL

No	Sampel	Karakteristik Warna		
		HS	AF	cHAL
1	Tanah Tercemar	Coklat muda (warna susu)	Bening kekuningan	Coklat muda
2	Rumen Sapi Lokal	Coklat bening	Bening kekuningan	Coklat muda kekuningan
3	Sampah Kebun	Coklat tua kehitaman	Coklat tua bening	Coklat tua
4	Rasio Optimum	Coklat tua	Coklat tua bening	Coklat tua kekuningan

Saat proses ekstraksi, sebelum penambahan asam dilakukan pengukuran pH awal sampel dengan tujuan untuk memastikan sampel yang akan diisolasi kandungan cHAL mempunyai pH ≥ 12 . Hal ini berkaitan dengan proses pengendapan cHAL yang bertahap seiring dengan peningkatan pH maka ikatan senyawa cHAL yang terendapkan akan semakin sempurna. Proses ekstraksi cHAL terjadi karena sifat asam humat yang larut pada basa. Menurut Swift (1989) dan Alimin *et al.*, (2005) asam humat terdiri atas bagan makromolekul polielektrolit yang memiliki gugus fungsional seperti -COOH, -OH fenolat maupun -OH alkoholat sehingga dapat mengalami deprotonisasi pada pH relatif tinggi. Deprotonisasi gugus-gugus fungsional asam humat akan menurunkan kemampuan pembentukan ikatan

hidrogen. Hal ini mengakibatkan ntar molekul maupun sesama molekul dan meningkatkan jumlah muatan negatif pada gugus fungsional asam humat sehingga akan meningkatkan gaya tolak menolak antar permukaan koloid dalam molekul asam humat. Oleh karena itu semakin meningkatnya pH maka menyebabkan permukaan partikel koloid asam humat lebih negatif dan terbuka serta berbentuk linear.



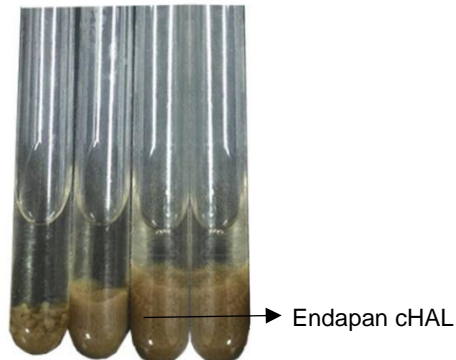
Gambar 4. 2 HA, AF dan HS Sampel Rasio Optimum

Swift (1989) dan Alimin *et al.*, (2005) menjelaskan bahwa proses pembentukan endapan pada asam humat berlangsung secara bertahap seiring dengan penurunan pH. Pada pH 3,5 – 9 asam humat membentuk sistem koloid polielektrolit yang bersifat fleksibel. Selanjutnya setelah memasuki pH rendah, asam humat akan berbentuk kaku (*rigid*) dan cenderung teragregasi membentuk suatu padatan makromolekul melalui ikatan hidrogen. Keadaan tersebut dipengaruhi oleh disosiasi gugus fungsional yang bersifat asam humat seperti -COOH yang secara umum terdisosiasi pada pH dalam rentang 4 – 5. Sedangkan gugus -OH fenolat atau -OH alkohol terdisosiasi pada pH sekitar 8 – 10. Oleh karena itu, hasil pengukuran pH sampel saat diekstraksi menunjukkan angka ≥ 10 yaitu 12,08 – 12,68 maka gugus fungsional yang terendapkan seperti -COOH, -OH dan sistem koloid polielektrolit.

4.4 Karakterisasi cHAL

Parameter yang dipilih dalam karakterisasi *bio-based surfactant* ini meliputi kadar cHAL, tegangan permukaan dan kemampuan emulsifikasi. Perhitungan kadar cHAL yang dihasilkan per massa sampel dilakukan dengan metode gravimetri berdasarkan IHSS (1996) dan Khoerunisa (2005) dengan melakukan pengeringan cHAL yang telah diisolasi pada suhu 60°C atau dengan pengeringan metode lainnya seperti menggunakan alat *dry freezing*. Isolasi asam humat dari lahan rawa menggunakan metode tersebut untuk mendapatkan asam humat dengan variasi tertentu (Rahmanto dan Hads, 2004).

Asam humat yang terukur pada penelitian merupakan senyawa yang secara lebih lanjut disebut dengan *compost humic acid-like* (cHAL). Analisis kandungan cHAL pada masing-masing variasi sampel menggunakan cara yang sama dengan analisis kandungan asam humat. Kadar cHAL yang dihitung yaitu berupa endapan hasil pengasaman sebagaimana tampak pada Gambar 4.3. Endapan cHAL yang terisolasi akan dianalisis tegangan permukaan secara lanjutnya analisis penurunan tegangan permukaan dan juga analisis aktifitas emulsifikasi untuk menentukan bagaimana karakteristiknya sebagai *biobased surfactant*.

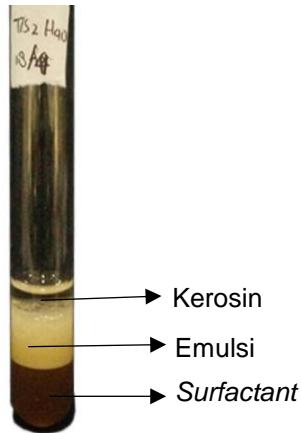


Gambar 4. 3 Kandungan cHAL T/S Hari ke-0, 20,40, 60

Analisis tegangan permukaan menggunakan alat Tensiometer Du Nouy pada suhu ruangan 25°C, dimana prinsip kerja alat ini adalah gaya yang diperlukan untuk melepaskan cincin

platinum iridium yang tercelup pada permukaan atau antar permukaan sebanding dengan tegangan permukaan atau antar permukaan (Martin *et al.*, 1992). Metode ini didasarkan bahwa tegangan permukaan dari larutan *surfactant* akan turun secara cepat dengan meningkatnya konsentrasi sampai pada titik *critical miselle consentration* (CMC), dari titik CMC ini sampai peningkatan konsentrasi selanjutnya tegangan permukaan tidak akan turun lagi. Pembentukan misel berjalan sangat cepat, sehingga pada awalnya tidak hanya molekul *surfactant* dalam sistem yang beragregasi tetapi juga yang berada di permukaan sistem, sehingga untuk sementara ada daerah yang tidak ditempati oleh molekul *surfactant* yang menyebabkan tegangan permukaan kembali naik, setelah posisi ini tidak ditempati lagi tidak ada lagi penurunan tegangan permukaan (Halim *et al.*, 1997; Alvarez dan Yakowsky, 2000).

Karakterisasi kemampuan emulsi direpresentasikan dengan data berupa persentase aktivitas emulsi dengan perbandingan tinggi emulsi yang dihasilkan terhadap tinggi total *surfactant* dan kerosin yang diukur pada jam ke-24 setelah *mixing* dengan *vortex mixer*, untuk mengetahui stabilisasi emulsi. Perbandingan antara cairan *surfactant* dan kerosin yaitu 1:1 (volume:volume). Pemilihan kerosin sebagai cairan yang diemulsi pada analisis ini karena karakteristik kerosin yang struktur ikatannya lebih sederhana sehingga emulsi lebih mudah terbentuk dan dapat terbaca aktivitas emulsifikasi dari masing-masing variasi sumber *biobased surfactant*. Pengamatan pada jam ke-24 menghasilkan data aktivitas emulsifikasi dalam bentuk AE_{24} . Hal ini menunjukkan stabilitas emulsi yang terbentuk hingga 24 jam setelah *mixing*. Hasil analisis didapatkan dari persentase tinggi emulsi terhadap tinggi total (cHAL dan minyak kerosine). Menurut Ni'matuzahroh dkk (2010), aktivitas *biobased surfactant* menunjukkan hasil yang bagus, dengan kisaran nilai AE antara 42,27– 66,72%. Hasil emulsi yang terbentuk terdapat pada sampel cHAL dengan sumber rasio optimum (T/S) setelah 24 jam terdapat pada Gambar 4.4.



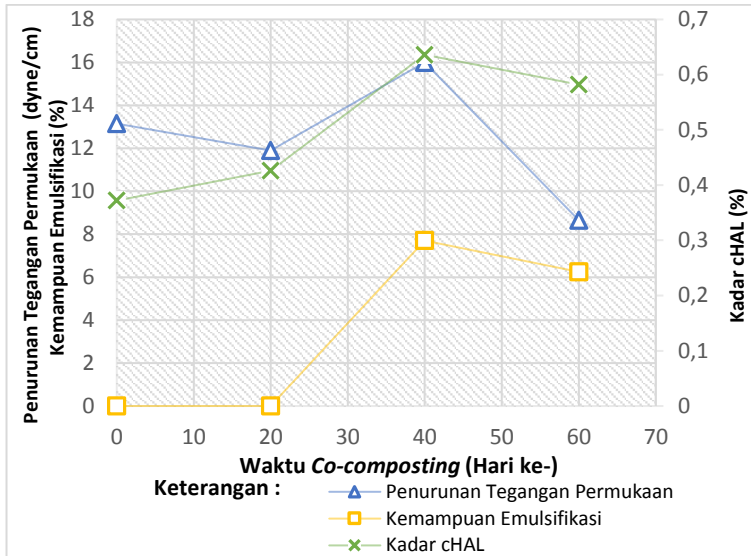
Gambar 4. 4 Emulsi Sampel Rasio Optimum (T/S)

4.4.1 Karakteristik cHAL Sumber Tanah tercemar

Tanah tercemar *crude oil* yang diambil dari pertambangan minyak bumi rakyat Desa Wonocolo yang mempunyai jenis tanah liat pasir berdebu mempunyai kandungan cHAL. Tanah tercemar yang diperlakukan kontrol *co-composting* mengalami karakteristik yang bervariasi seiring dengan lamanya waktu *co-composting*. Pada proses *co-composting* variasi sumber cHAL tanah tercemar mempunyai karakteristik cHAL sebagai pada Gambar 4.5. Berdasarkan Gambar 4.5 menunjukkan karakteristik cHAL dari tanah tercemar (TT) yaitu sebagai berikut.

A. Kadar cHAL Tanah Tercemar

Kadar cHAL dengan waktu *composting* baik hari ke-0, 20, 40 dan 60 yaitu sebesar 0,372%, 0,426%, 0,636%, 0,582%. Pada hari ke-20, meskipun kandungan cHAL mengalami kenaikan pada keseluruhan variasi sumber cHAL kecuali pada tanah tercemar (TT), kenaikan cHAL ini terjadi karena proses *co-composting* pada fase *termofilik* mengalami peningkatan karena pengkondisian *co-compositing* seperti kontrol kelembaban dan aerasi sehingga meningkatkan aktivitas bakteri dalam mendegradasi lignin menjadi karboksilat, fenol dan lain-lain (Barje *et al.*, 2012). Oleh karena itu ketersediaan sumber cHAL semakin besar. Namun karena kandungan C/N yang lebih rendah dari sumber cHAL lainnya dalam penelitian ini.



Gambar 4. 5 Grafik Karakteristik cHAL Tanah Tercemar (TT)

Tanah tercemar *crude oil* (TT) yang mempunyai jenis pasir liat berdebu mempunyai kandungan asam humat yang rendah dibandingkan sumber cHAL lainnya. Apabila dibandingkan dengan tanah gambut yang kaya akan asam humat dengan rentang 0,06 - 1,71% (Rahmanto dan Hads, 2004), maka pada tanah tercemar cukup rendah kandungan asam humatnya. Asam humat pada gambut tersebut berasal dari dekomposisi bahan organik seperti daun, pohon atau kayu dengan berbagai tingkat dekomposisi, namun secara umum telah mencapai dekomposisi yang stabil (Syarfi, 2007). Sedangkan tanah tercemar yang bertekstur liat pasir berdebu mempunyai kandungan hasil dekomposisi organik yang rendah, seperti halnya kandungan C/N yang kecil dibandingkan dengan C/N pada sumber cHAL lainnya yaitu sebesar 23,37. Ketersediaan C/N dalam tanah ini juga mempengaruhi adanyanya cHAL pada tanah tercemar pada hari ke-60 yang berkurang karena nilai C/N tanah tercemar pada *co-composting* hari ke-60 juga semakin rendah. Selain itu karena

proses huminifikasi tanah cHAL juga dapat terdegradasi menjadi *humin* (humus).

B. Penurunan Tegangan Permukaan

Berdasarkan hasil analisis tegangan permukaan yang dilakukan di Laboratorium Terpadu, Departemen Biologi, Universitas Airlangga, didapatkan hasil bahwa tegangan pada variasi sumber *biobased surfactant* tanah tercemar mengalami penurunan tegangan permukaan pada hari ke 0, 20, 40, dan 60 yaitu sebesar 8,65 – 13,39 dyne/cm. Sedangkan pada hari ke 40 mengalami penurunan yang paling besar sehingga tegangan permukaan cairan menjadi 57,05 dyne/cm. Apabila dikaitkan dengan kadar cHAL pada hari ke-40 terjadi peningkatan yang besar dari hari ke-20 sehingga salah satu dampaknya mampu meningkatkan kemampuan penurunan tegangan permukaan. Akan tetapi pada *co-composting* hari ke-60 dengan peningkatan cHAL tidak besar atau relatif stabil tegangan permukaan justru menurun. Hal ini menunjukkan cHAL yang dihasilkan dari tanah tercemar pada hari ke-60 mempunyai kecenderungan sifat penurun tegangan permukaan yang lebih rendah dari hari ke-40.

C. Aktivitas Kemampuan Emulsifikasi (AE)

Pada variasi tanah tercemar AE hasil analisis yaitu pada rentang antara 0–7,7%. Berdasarkan grafik didapatkan kemampuan emulsifikasi meningkat dari hari ke-0 hingga hari ke-40, setelah itu turun pada hari ke-60. Hal ini seiring dengan peningkatan kadar cHAL yang meningkat dari hari ke-0 hingga hari ke-40 namun menurun pada hari ke-60. Kemampuan emulsifikasi paling optimum yaitu pada hari ke-40 sebesar 7,7%. Apabila dibandingkan dengan teori oleh Ni'matuzahroh dkk (2010), aktivitas *biobased surfactant* menunjukkan hasil yang bagus, dengan kisaran nilai AE antara 42,27– 66,72%, maka kemampuan emulsifikasi cHAL dari tanah tercemar masih sangat kurang.

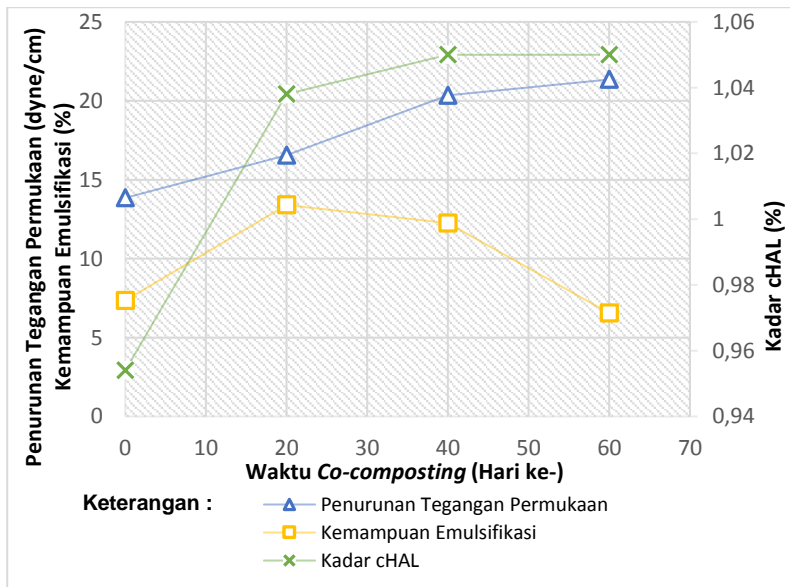
4.4.2 Karakteristik cHAL Sumber Sampah Kebun

Sampah kebun yang diambil dari Rumah Kompos ITS diperlakukan kontrol *co-composting* mengalami karakteristik yang bervariasi seiring dengan lamanya waktu *co-composting*. Pada proses *co-composting* sampah kebun mempunyai karakteristik cHAL sebagaimana tersaji dalam grafik pada Gambar 4.6.

Pada Gambar 4.6 menunjukkan karakteristik cHAL dari sampah Kebun (SK) yang meliputi kadar, penurunan tegangan permukaan dan kemampuan emulsifikasi sebagai berikut.

A. Kadar cHAL

Kadar cHAL dengan waktu *composting* baik hari ke-0, 20, 40 dan 60 yaitu sebesar 0,95%, 1,038%, 1,05%, 1,05%. Kandungan cHAL pada hari ke-0 paling besar pada variasi sampah kebun dan sampah rumen yaitu 0,954% dan 0,864%. Menurut Dewi dan Siagian (1992) sampah kebun merupakan sampah organik yang mengandung lignoselulosa, misalnya kayu, ranting, daun-daunan, rumput dan jerami. Komponen bahan lignoselulosa ini disusun oleh senyawa yang sangat kompleks. Senyawa ini terdiri dari senyawa selulosa, hemiselulosa (*mannan* dan *xylan*) serta lignin, sehingga biomassa yang berasal dari tanaman disebut biomassa yang mengandung senyawa lignoselulosa atau bersifat lignoselulolitik.



Gambar 4. 6 Grafik Karakteristik cHAL Sampah Kebun (SK)

Pada hari ke-20, kadar cHAL sampah kebun mengalami peningkatan dalam jumlah yang paling besar dari hari ke-0. Kenaikan cHAL ini terjadi karena proses *co-composting* pada fase *termofilik* mengalami peningkatan karena pengkondisian *co-compositing* sehingga meningkatkan aktivitas bakteri dalam mendegradasi lignin menjadi karboksilat, fenol dan lain-lain (Barje *et al.*, 2012). Pada hari ke-40 dan ke-60 kadar cHAL relatif stabil atau tidak mengalami peningkatan dalam jumlah yang besar. Hal ini dapat dikarenakan kandungan lignin dan lignoselulosa yang telah degradasi secara optimum pada proses *co-composting* menjadi senyawa yang lebih sederhana pada hari sebelumnya (Dewi, 1992).

B. Penurunan Tegangan Permukaan

Hasil analisis tegangan permukaan sesuai Gambar 4. 6 menunjukkan terjadi penurunan tegangan permukaan pada sampel hari ke 0, 20, 40, dan 60 yaitu sebesar 13,85 – 21,35 dyne/cm. Sedangkan pada hari ke-60 mengalami penurunan yang paling besar sehingga tegangan permukaan cairan menjadi 21,35 dyne/cm. Namun penurunan tegangan permukaan tidak jauh berbeda pada hari ke-40 dengan hari ke-60 yaitu selisih sebesar 1,0 dyne/cm. Apabila dikaitkan dengan kadar cHAL pada hari ke 40 terjadi peningkatan dari hari ke-40 hingga hari ke-60, namun di sisi lain tidak terdapat peningkatan kemampuan cHAL dalam menurunkan tegangan permukaan.

Pada teori penambahan *surfactant* yang melebihi konsentrasi kritis tertentu, maka *surfactant* akan mengalami agregasi dan membentuk struktur misel. Penambahan *surfactant* tersebut tidak akan mempengaruhi tegangan permukaan walaupun konsentrasi *surfactant* terus ditingkatkan. Konsentrasi kritis terbentuknya misel ini disebut sebagai *critical micelle concentration* (CMC). Tegangan permukaan akan menurun hingga CMC tercapai. Penambahan konsentrasi *surfactant* lebih tinggi dari CMC tidak akan menurunkan tegangan permukaan, yang menunjukkan bahwa permukaan cairan telah menjadi jenuh, dimana misel telah terbentuk dan berada dalam kesetimbangan dinamis dengan monomernya (Genaro, 1990). Oleh karena itu dapat dikatakan pada hari ke-40 dan ke-60 cHAL telah mengalami agregasi dan membentuk

struktur misel sehingga tegangan permukaan cHAL relatif stabil walaupun mengalami peningkatan kadar cHAL.

Savarion *et al.* (2010), melakukan penelitian sebelumnya pada sampah kebun yang diisolasi pada hari ke-0, 7 dan 60 didapatkan tegangan permukaan sebesar 38,0 ; 38,0 dan 38,1 dyne/cm atau mampu menurunkan tegangan permukaan sebesar 32,0; 32,0; dan 31,9 dyne/cm. Sedangkan dalam penelitian ini, penurunan tegangan permukaan dari masing-masing pengambilan waktu *co-composting* hari ke-0, 20, 40, dan 60 didapat lebih besar dari 10 dyne/cm, sehingga cHAL dari sampah kebun mempunyai potensi sebagai *biobased surfactant* berdasarkan parameter penurunan tegangan permukaan.

C. Kemampuan Emulsifikasi

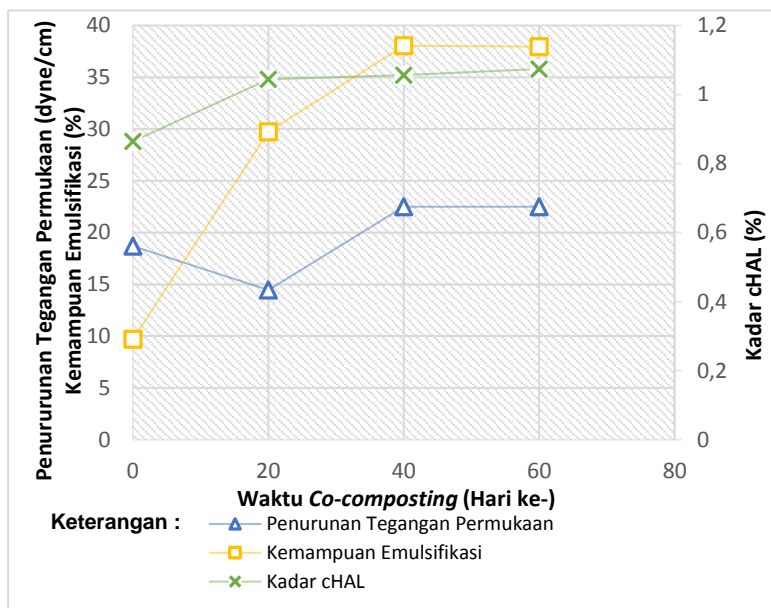
Variasi sampah kebun mempunyai karakteristik AE hasil analisis yaitu pada rentang antara 6,65-21,65%. Berdasarkan grafik didapatkan kemampuan emulsifikasi meningkat dari hari ke 0 hingga hari ke-20, setelah itu turun pada hari ke-40 dan hari ke-60. Disisi lain peningkatan kadar cHAL terus berlangsung dari hari ke-0 hingga hari ke-60. Selain itu, peningkatan parameter penurunan tegangan permukaan juga berlangsung dari hari ke-0 hingga hari ke-60. Walaupun kemampuan emulsifikasi menurun pada hari ke-40 dan ke-60, namun cHAL dari sampah kebun ini mempunyai kemampuan emulsifikasi yang baik.

Menurut Myers (2008), *surfactant* dapat diklasifikasikan sebagai *emulsifier*, *foaming agent*, *wetting agent*, dispersan atau penurun tegangan permukaan. Hal ini tergantung dari sifat pembawa perannya. Pada cHAL bersumber dari sampah kebun hari ke-60 aktivitas emulsifikasinya paling rendah dibandingkan dengan pada hari lainnya yaitu sebesar 6,55%. Sehubungan dengan teori tersebut dapat dikatakan bahwa cHAL sampah kebun pada hari ke-60 lebih bersifat sebagai penurun tegangan permukaan daripada sebagai pengemulsi. Selain itu dibandingkan dengan kemampuan emulsifikasi *biosurfactant* oleh Ni'matuzahroh dkk (2010), aktivitas *biobased surfactant* menunjukkan hasil yang bagus, dengan kisaran nilai AE antara

42,27–66,72%, maka kemampuan emulsifikasi cHAL dari sampah kebun masih belum dapat dikategorikan bagus.

4.4.3 Karakteristik cHAL Sumber Sampah Rumen Sapi

Sampah Rumen Sapi (SR) yang diambil dari Rumah Pemotongan Hewan (RPH) Pegirian Surabaya diperlakukan kontrol *co-composting* mengalami karakteristik yang bervariasi seiring dengan lamanya waktu *co-composting*. Pada proses *co-composting* sampah kebun mempunyai karakteristik cHAL sebagaimana tersaji dalam grafik pada Gambar 4.7 berikut.



Gambar 4. 7 Grafik Karakteristik cHAL Sampah Rumen Sapi (SR)

Pada Gambar 4.7 menunjukkan karakteristik cHAL dari sampah rumen sapi (SR) yang meliputi kadar, penurunan tegangan permukaan dan kemampuan emulsifikasi sebagai berikut.

A. Kadar cHAL

Kadar cHAL sampah rumen sapi dengan waktu *composting* baik hari ke-0, 20, 40 dan 60 yaitu sebesar 0,864%; 1,044%; 1,056% dan 1,074%. Kandungan cHAL pada hari ke-0 paling besar pada variasi sampah kebun dan sampah rumen

yaitu 0,954% dan 0,864%. Hal ini disebabkan oleh sebagaimana sama halnya dengan sampah kebun, rumen sapi yang mengandung lignoselulosa dengan kandungan lignin paling kecil dibandingkan dengan selulosa dan hemiselulosa di dalamnya (Priadi dan Ratnakomala, 2011).

Pada hari ke-20, kadar cHAL sampah rumen sapi mengalami peningkatan dalam jumlah yang paling besar dari hari ke-0. Kenaikan cHAL ini terjadi karena proses *co-composting* yang meningkatkan degradasi lignin menjadi karboksilat, fenol dan lain-lain (Barje *et al.*, 2012). Di sisi lain, hasil degradasi tersebut menjadi sumber adanya cHAL. Pada hari ke-40 dan 60 kadar cHAL relatif stabil atau tidak mengalami peningkatan dalam jumlah yang besar dari hari ke-20. Hal ini dapat dikarenakan kandungan lignin dan lignoselulosa yang telah degradasi secara optimum pada proses *co-composting* menjadi senyawa yang lebih sederhana (Dewi, 1992).

B. Penurunan Tegangan Permukaan

Hasil analisis tegangan permukaan sesuai Gambar 4.7 menunjukkan terjadi penurunan tegangan permukaan pada sampel hari ke-0, 20, 40, dan 60 yaitu sebesar 14,45–22,25 dyne/cm. Sedangkan pada hari ke-40 dan 60 mengalami penurunan yang paling besar sehingga tegangan permukaan cairan menjadi 22,25 dyne/cm. Berkaitan dengan kadar cHAL pada hari ke 40 dan hari ke-60 terjadi kenaikan sebesar 0,18%, namun di sisi lain tidak terdapat peningkatan kemampuan cHAL dalam menurunkan tegangan permukaan.

Hasil karakteristik penurunan tegangan permukaan pada cHAL sampah rumen sapi apabila dikaitkan dengan teori penambahan *surfactant* yang melebihi konsentrasi kritis tertentu, maka *surfactant* akan mengalami agregasi dan membentuk struktur misel. Penambahan *surfactant* tersebut tidak akan mempengaruhi tegangan permukaan walaupun konsentrasi *surfactant* terus ditingkatkan. Konsentrasi kritis terbentuknya misel ini disebut sebagai *critical micelle concentration* (CMC). Tegangan permukaan akan menurun hingga CMC tercapai. Penambahan konsentrasi *surfactant* lebih tinggi dari CMC tidak akan menurunkan tegangan permukaan, yang menunjukkan bahwa permukaan cairan telah

menjadi jenuh, dimana misel telah terbentuk dan berada dalam kesetimbangan dinamis dengan monomernya (Genaro, 1990). Oleh karena itu pada hari ke-40 dan ke-60 cHAL telah mengalami agregasi dan membentuk struktur misel sehingga tegangan permukaan cHAL relatif stabil walaupun mengalami peningkatan kadar cHAL.

Perbandingan *bio-based surfactant* dengan penelitian sebelumnya yaitu pada hasil isolasi oleh Savarion *et al.* (2010), bahwa sampah lignoselulosa yang dikomposkan dan diisolasi kandungan cHAL pada hari ke-0 dan 15 didapatkan tegangan permukaan sebesar 43,5 dan 50,4 dyne/cm atau mengalami penurunan tegangan permukaan sebesar 26,7 dan 19,6 dyne/cm. Selain itu apabila mengacu pada analisis penurunan tegangan permukaan dari masing-masing isolat cHAL waktu *co-composting* hari ke 0, 20, 40, dan 60 didapat lebih besar dari 10 dyne/cm, sehingga cHAL isolat tersebut berpotensi sebagai *biobased surfactant* sebagai penurun tegangan permukaan.

C. Kemampuan Emulsifikasi

Variasi sampah rumen sapi (SR) mempunyai karakteristik AE hasil analisis yaitu pada rentang antara 9,7-38,05%. Berdasarkan grafik pada Gambar 4.7 didapatkan kemampuan emulsifikasi meningkat dari hari ke 0 hingga hari ke-20 dalam jumlah yang besar yaitu dari 9,7% hingga 29,75%. Hal ini seiring dengan peningkatan kadar cHAL yang naik dari 0,954% menjadi 1,038%. Peningkatan kemampuan emulsifikasi terus berlangsung pada hari ke-40 dan hari ke-60. Pada hari ke0, 40 dan 60 inilah aktivitas emulsifikasi cenderung bersifat stabil dibandingkan dengan sumber cHAL lainnya, yakni berada pada angka 29,75% ; 38,05% dan 37,95%.

Pada cHAL variasi sampah rumen sapi stabilitas buih mampu meningkatkan kemampuan emulsifikasi. Hal ini dapat dipengaruhi oleh keberadaan substrat *de-fatted chloroplast* yang terkandung pada rumen ternak terutama sapi sehingga menimbulkan stabilisasi buih. Proses stabilisasi buih oleh *de-fatted chloroplast* ini mengakibatkan rumen sapi mudah berbuih secara stabil dalam waktu yang lama (Mangan, 1959). Oleh karena itu kemampuan emulsifikasi cHAL rumen sapi lebih

tinggi dan lebih berpotensi sebagai emulsifier dibandingkan dengan variasi sumber cHAL lainnya.

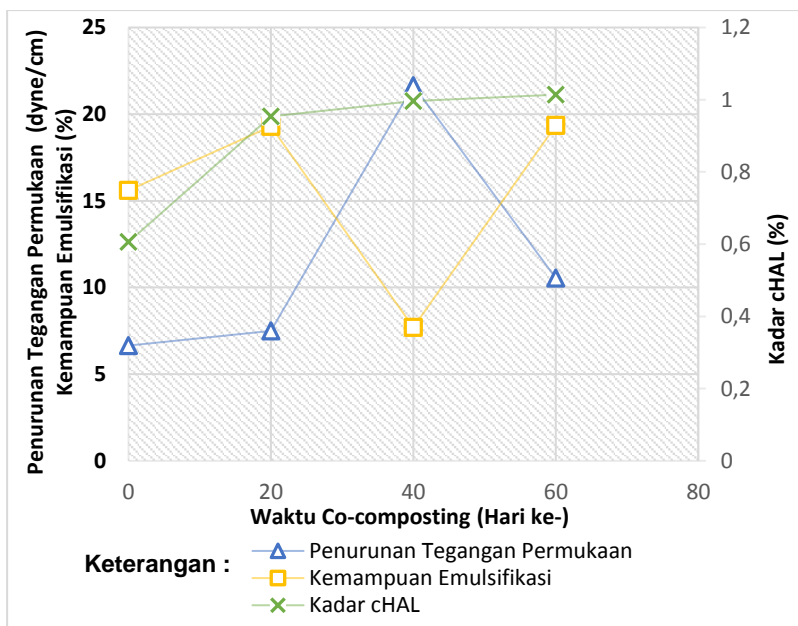
4.4.4 Karakteristik cHAL Sumber Rasio Optimum

Sumber cHAL dari rasio optimum tanah tercemar dan sampah 50:50 (T/S) diperlakukan kontrol *co-composting* mengalami karakteristik yang bervariasi. Pada proses *co-composting* rasio T/S optimum mempunyai karakteristik cHAL sebagaimana tersaji dalam grafik pada Gambar 4.8.

A. Kadar cHAL

Hasil isolasi rasio tanah tercemar dan sampah dalam penyisihan hidrokarbon (T/S) didapatkan kadar cHAL dengan waktu *composting* hari ke-0, 20, 40 dan 60 sebesar 0,606%, 0,954%, 0,996%, dan 1,014%. Kandungan cHAL pada hari ke-0 paling besar pada variasi T/S ini adalah pada hari ke-60. Pada variasi ini merupakan campuran antara sampah kebun dan sampah rumen sapi serta tanah tercemar untuk mendapatkan C/N yang optimum untuk *co-composting*. Hal ini mengakibatkan sebagaimana sama halnya dengan sampah kebun dan rumen sapi yang mengandung lignoselulosa dengan kandungan lignin serta selulosa dan hemiselulosa di dalamnya (Priadi dan Ratnakomala, 2011).

Sama halnya dengan cHAL isolat sampah kebun dan sampah rumen sapi hari ke-20, kadar cHAL isolat T/S mengalami peningkatan dalam jumlah yang paling besar dari hari ke-0. Kenaikan cHAL ini terjadi karena proses *co-composting* pada fase termofilik mengalami peningkatan karena pengkondisian *co-compositing* seperti kontrol kelembaban dan aerasi sehingga meningkatkan aktivitas bakteri dalam mendegradasi lignin menjadi karboksilat, fenol dan lain-lain (Barje *et al.*, 2012). Sedangkan pada hari ke-40 dan 60 kadar cHAL relatif stabil atau tidak mengalami peningkatan dalam jumlah yang besar. Hal ini terjadi akibat kandungan lignin dan lignoselulosa yang telah degradasi secara optimum pada proses *co-composting* menjadi senyawa yang lebih sederhana pada hari pengomposan sebelumnya (Dewi, 1992).



Gambar 4. 8 Grafik Karakteristik cHAL Rasio Optimum (T/S)

B. Penurunan Tegangan permukaan

Hasil analisis tegangan permukaan sesuai Gambar 4.8 terjadi penurunan tegangan permukaan pada sampel hari ke-0, 20, 40, dan 60 diantaranya sebesar 6,65; 7,5; 21,65; dan 10,55 dyne/cm. Penurunan tegangan paling besar terjadi pada hari ke-40 sehingga tegangan permukaan cairan menjadi 51,65 dyne/cm akibat penurunan 21,65 dyne/cm. Namun penurunan tegangan permukaan tidak jauh berbeda pada hari ke-60 yaitu sebesar 10,55 dyne/cm. Sedangkan kadar cHAL pada hari ke 40 terjadi peningkatan dari hari ke-40 hingga hari ke-60. Di sisi lain tidak tergapat peningkatan kemampuan cHAL dalam menurunkan tegangan permukaan.

Pada teori penambahan *surfactant* yang melebihi konsentrasi kritis tertentu, maka *surfactant* akan mengalami agregasi dan membentuk struktur misel. Penambahan *surfactant* tersebut tidak akan mempengaruhi tegangan permukaan walaupun konsentrasi surfactant terus ditingkatkan.

Konsentrasi kritis terbentuknya misel ini disebut sebagai *critical micelle concentration* (CMC). Tegangan permukaan akan menurun hingga CMC tercapai. Penambahan konsentrasi *surfactant* lebih tinggi dari CMC tidak akan menurunkan tegangan permukaan, yang menunjukkan bahwa permukaan cairan telah menjadi jenuh, dimana misel telah terbentuk dan berada dalam kesetimbangan dinamis dengan monomernya (Genaro, 1990). Pada hari ke-60 cHAL telah mengalami agregasi dan membentuk struktur misel sehingga kemampuan menurunkan tegangan permukaan cHAL justru menurun mengalami peningkatan kadar cHAL.

Di sisi lain, apabila dibandingkan dengan kemampuan emulsifikasi yang paling tinggi pada hari ke-60 dan paling rendah pada hari ke-40 maka dapat ditentukan kecenderungan atau potensi klasifikasi dari peran cHAL isolat T/S pada hari ke-40 dan 60 tersebut. Pada hari ke-40 isolat cHAL lebih berperan sebagai penurun tegangan permukaan karna berhasil menurunkan tegangan permukaan sebesar 21,65 dyne/cm. Sedangkan pada hari ke-60 isolat cHAL lebih berperan sebagai emulsifier karna emulsinya yang paling besar dibandingkan waktu *co-composting* sebelumnya yaitu 19,35%.

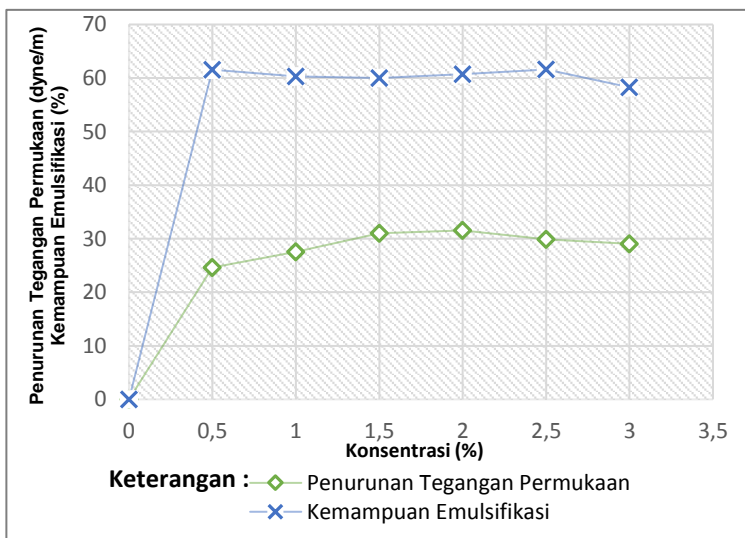
Penurunan tegangan permukaan dari masing-masing pengambilan waktu *co-composting* hari ke-40 didapat lebih besar dari 10 dyne/cm, sehingga cHAL dari rasio optimum mempunyai potensi sebagai *biobased surfactant* berdasarkan parameter penurunan tegangan permukaan.

C. Kemampuan Emulsifikasi

Variasi T/S (SR) mempunyai karakteristik AE hasil analisis yaitu 15,6%, 19,3%, 7,7% dan 19,35%. Kemampuan emulsifikasi optimum terjadi pada pada hari ke-60. Isolat cHAL hari ke-60 ini lebih berperan sebagai emulsifier karna emulsinya yang paling besar dibandingkan waktu *co-composting* sebelumnya yaitu 19,35%. Namun kemampuan emulsifikasi isolat cHAL T/S relatif sedang dibandingkan dengan isolat cHAL rumen sapi namun lebih tinggi daripada sampah kebun dan tanah tercemar. Hal ini salah satunya disebabkan adanya *de-fatted chloroplast* dari rumen sapi yang terbawa ke campuran T/S sehingga menstabilkan emulsi.

4.4.5 Karakteristik Tween 80

Dalam penelitian ini dilakukan komparasi antara cHAL terhadap Tween 80 sebagai *commercial surfactant*. Tween 80 yang divariasikan konsentrasinya dari 0; 0,5; 1; 1,5; 2; 2,5% ini akan digunakan sebagai perbandingan pemisahan hidrokarbon dalam proses *soil washing*. Sebelumnya Tween 80 dianalisis karakteristik penurunan tegangan permukaan dan kemampuan emulsifikasinya sebagai salah satu bahan perbandingan dengan karakteristik cHAL. Hasil analisis parameter tersebut terdapat pada Gambar 4.9 berikut.



Gambar 4. 9 Grafik Karakteristik Tween 80

Tween 80 mempunyai penurunan tegangan permukaan yang bervariasi. Tanpa penambahan Tween 80 tegangan permukaan cairan sebesar 73,05 dyne/cm. Penambahan Tween 80 dengan konsentrasi 0,5% mengakibatkan penurunan tegangan permukaan dalam jumlah besar yaitu 24,6 dyne/cm sehingga tegangan permukaan akhirnya menjadi 48,45 dyne/cm. Penambahan konsentrasi Tween 80 selanjutnya membuat penurunan tegangan permukaan semakin besar namun tidak jauh berbeda dengan Tween 80 pada konsentrasi 0,5%. Kenaikan dalam penurunan tegangan permukaan terus terjadi pada

penambahan Tween 80 pada konsentrasi 1%; 1,5%; dan 2% sebesar 27,55; 31; dan 31,55 dyne/cm. Sedangkan pada konsentrasi 2,5% dan 3% kemampuan penurunan tegangan permukaan justru turun dan bertahan pada angka 29 dyne/cm.

Berdasarkan hasil analisis penurunan tegangan permukaan paling tinggi oleh cHAL yaitu pada variasi sampah rumen sapi hari ke-40 dan ke-60 sebesar 22,5 dyne/cm. Sedangkan pada Tween 80 penurunan tegangan permukaan terbesar yaitu 31,35 dyne/cm pada konsentrasi 1,5%. Oleh karena itu, pada kondisi optimum parameter penurunan tegangan permukaan antara cHAL dan Tween 80 mempunyai selisih 9,15 dyne/cm. Kemampuan penurunan tegangan permukaan isolat cHAL tiap sumber cHAL optimum sebesar isolat TT 0,42 kali; isolat SK 0,68 kali; isolat SR 0,73 kali; dan isolat rasio T/S 0,7 kali dibandingkan dengan penurunan tegangan permukaan oleh Tween 80. Dilihat dari bentuk grafiknya, terdapat pola yang berbeda antara cHAL dan Tween 80, dimana pola grafik penurunan tegangan permukaan oleh cHAL yang lebih variatif seiring dengan lamanya waktu *co-composting*. Pada grafik penurunan tegangan permukaan oleh Tween 80 yang cenderung stabil setelah mencapai titik optimum.

Aktivitas emulsifikasi yang dihasilkan dari variasi konsentrasi Tween 80 sama halnya dengan parameter tegangan permukaan yaitu mengalami kenaikan dalam jumlah yang besar pada konsentrasi 0,5% yaitu dari 0% menjadi 61,55%. Sedangkan pada konsentrasi 1% hingga 2,5% kemampuan emulsifikasi relatif stabil pada angka 60-61%. Di sisi lain pada konsentrasi 3% kemampuan emulsifikasi turun menjadi 58,25%. Pada konsentrasi 1,5% menunjukkan kestabilan aktivitas emulsifikasi yang mengakibatkan penambahan konsentrasi Tween 80 tidak mengakibatkan aktivitas emulsifikasi bertambah dengan jumlah yang besar.

4.4.6 Komparasi Karakteristik cHAL dengan Tween 80

Didapatkan hasil karakterisasi penurunan tegangan permukaan dan aktivitas emulsifikasi optimum dari cHAL yang bersumber dari isolat tanah tercemar, sampah kebun, sampah rumen sapi dan ratio T/S 50-:50. Lalu dibandingkan dengan Tween 80 konsentrasi 1,5% sebagaimana pada Tabel 4.3 dan Tabel 4.4.

Tabel 4. 3 Komparasi Penurunan Tegangan Permukaan (Δ TP) cHAL dan Tween 80

Sumber cHAL	Δ TP (dyne/cm)		Rasio Δ TP cHAL terhadap Tween 80 1,5%
	cHAL	Tween 80	
Isolat TT	13,5	31	0,42
Isolat SK	21,35	31	0,68
Isolat SR	22,5	31	0,73
Isolat T/S 50:50	21,65	31	0,7

Berdasarkan Tabel 4.3 penurunan tegangan permukaan (Δ TP) paling tinggi oleh cHAL yaitu pada variasi sampah rumen sapi hari ke-40 dan ke-60 sebesar 22,5 dyne/cm. Sedangkan pada Tween 80 penurunan tegangan permukaan terbesar yaitu 31,35 dyne/cm pada konsentrasi 1,5%. Oleh karena itu, pada kondisi tertinggi dari variasi cHAL, parameter penurunan tegangan permukaan antara cHAL dan Tween 80 mempunyai selisih 9,15 dyne/cm. Komparasi penurunan tegangan permukaan cHAL terhadap Tween 80 Konsentrasi 1,5% disajikan dalam bentuk rasio Δ TP optimum oleh cHAL pada masing-masing sumber terhadap Δ TP optimum oleh Tween yaitu pada konsentrasi 1,5%. Kemampuan penurunan tegangan permukaan isolat cHAL tiap sumber cHAL optimum sebesar isolat TT 0,42 kali; isolat SK 0,68 kali; isolat SR 0,73 kali; dan isolat rasio T/S 50:50 0,7 kali dibandingkan dengan penurunan tegangan permukaan oleh Tween 80. Oleh karena itu, dapat dikatakan bahwa adanya penurunan tegangan permukaan oleh cHAL berpotensi sebagaimana penurunan tegangan permukaan oleh Tween 80 pada konsentrasi 1,5% sebagai *surfactant*.

Tabel 4. 4 Komparasi Aktivitas Emulsifikasi (AE) cHAL dan Tween 80

Sumber cHAL	AE (%)		Ratio AE cHAL terhadap Tween 80 1,5%
	cHAL	Tween 80	
Isolat TT	7,7	60	0,12
Isolat SK	13,4	60	0,22
Isolat SR	38,05	60	0,63
Isolat T/S 50:50	19,35	60	0,33

Perbandingan dengan kemampuan emulsifikasi yang dihasilkan oleh cHAL yaitu pada variasi sampah rumen sapi hari

ke-40 sebesar 38,05% merupakan kondisi paling optimum. Sedangkan Tween 80 paling besar kemampuan emulsifikasinya pada konsentrasi 1,5% sebesar 60%. Maka perbandingan AE dari tiap-tiap isolat cHAL optimum sebesar isolat TT 0,13 kali, isolat SK 0,22 kali; isolat SR 0,63 kali dan isolat rasio T/S 50:50 0,33 kali terhadap aktivitas emulsifikasi optimum Tween 80. Oleh karena itu dengan adanya aktivitas emulsifikasi oleh cHAL seperti halnya aktivitas emulsifikasi Tween 80.

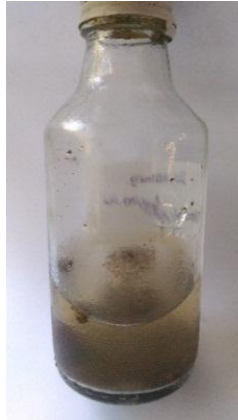
Berdasarkan karakterisasi penurunan tegangan permukaan dan aktivitas emulsifikasi cHAL, maka dapat ditentukan potensinya. cHAL berpotensi sebagai *biobased surfactant* seperti halnya Tween 80. Potensi tersebut ditunjukkan melalui kemampuannya dalam menurunkan tegangan permukaan dan meningkatkan kemampuan emulsifikasi. Kedua peran tersebut mengakibatkan cHAL potensial dalam membantuk memisahkan hidrokarbon dari ikatan tanah tercemar.

4.5 Kemampuan Pemisahan Hidrokarbon oleh *Surfactant*

Kemampuan pemisahan hidrokarbon diuji dengan teknik *soil washing* tanah tercemar *crude oil* dengan aplikasi cHAL dan Tween 80 sebagai perbandingannya.

4.5.1 *Soil Washing* oleh Variasi Sumber cHAL

Soil washing dilakukan dengan agitasi campuran tanah tercemar dan isolat cHAL pada kecepatan 200 rpm ini mengakibatkan perubahan secara fisik terhadap sampel. Pada mulanya sampel terpisah antara tanah tercemar *crude oil* dan isolat cHAL. Butiran tanah tercemar menggumpal dan melayang pada diantara cHAL, tidak terbentuk suspensi sebagaimana pada Gambar 4.10. Agitasi selama 24 jam mengakibatkan cHAL dan tanah tercemar menjadi suatu campuran berwarna coklat muda dan keruh. Setelah agitasi juga terbentuk emulsi pada permukaan campuran. Hal ini menunjukkan terjadi emulsifikasi antara cHAL dengan *crude oil* yang mengkontaminasi tanah tercemar. Pada proses ini juga terjadi desorpsi hidrokarbon dari tanah akibat adanya pemisahan hidrokarbon karena adanya sifat hidrofobik dari cHAL. Suspensi campuran hasil *soil washing* terdapat pada Gambar 4.11.



Gambar 4. 10 Tanah dan cHAL Sebelum *Soil Washing*



Gambar 4. 11 Suspensi Hasil *Soil Washing*

Stabilisasi selama 24 jam selanjutnya dilakukan untuk mengkonsistensikan campuran antara tanah dan cHAL yang terbentuk. Hal ini mengakibatkan pembentukan lapisan-lapisan yang mempunyai karakteristik fisik yang berbeda pada campuran. Pada *soil washing* dengan isolat cHAL dihasilkan 3 lapisan dimana pada setiap variasi sumber *biobased surfactant* mempunyai sifat yang berbeda baik tebal lapisan maupun warna lapisan yang dihasilkan. Lapisan layer yang terbentuk setelah stabilisasi dapat dilihat pada Gambar 4.12



Gambar 4. 12 Lapisan Setelah Stabilisasi Hasil *Soil Washing*

Pemisahan antara supernatan dan endapan dilakukan menggunakan filtrasi kertas saring Whatman 42, menghasilkan filtrat bening yang berwarna coklat sebagaimana tampak pada Gambar 4.13. Pada filtrat ini terdapat kandungan hidrokarbon yang telah terlarutkan dan teremulsi oleh cHAL. Dalam *soil washing* ini senyawa asam humat bertindak sebagai *natural surfactant* yaitu salah satunya karena keberadaanya mampu membentuk emulsi dengan kontaminan hidrokarbon (Guetzloff dan Rice, 1994; Kleber *et al.*, 2007). Emulsi yang terbentuk dapat bertahan hingga setelah dilakukan pengendapan, sebagaimana terdapat pada Gambar 4.13. Demikian dapat dibandingkan kandungan hidrokarbon awal pada tanah, kandungan hidrokarbon akhir hasil *soil washing* dan perhitungan kandungan hidrokarbon yang tersisihkan.

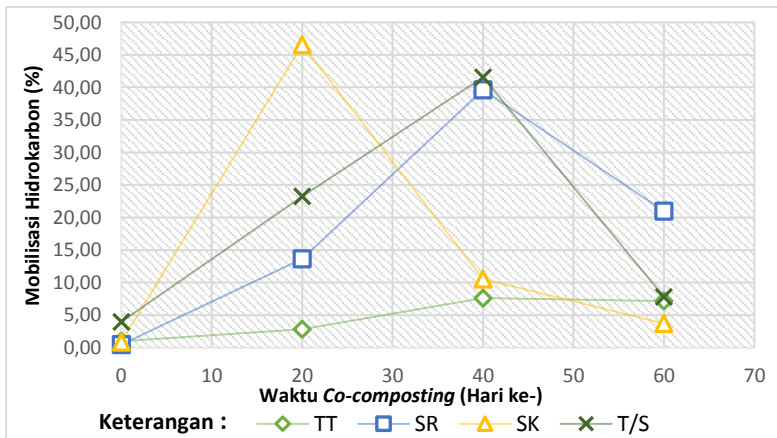


Gambar 4. 13 Emulsi Hidrokarbon dan cHAL saat Penyaringan

Berdasarkan hasil *soil washing* dilakukan analisis kandungan hidrokarbon yang berada pada tanah sebelum dan sesudah agitasi. Melalui besarnya kadar hidrokarbon tersebut dapat ditentukan persentase pemisahan hidrokarbon dari ikatan partikel tanah. Pemisahan hidrokarbon ini sangat dipengaruhi oleh jenis tanah terkontaminasi dan pola ikatan tanah secara geologisnya. Hal ini menunjukkan bahwa perlu nya mengetahui kondisi pencemaran hidrokarbon pada tanah secara geologis untuk menunjang data hasil *soil washing* menggunakan cHAL sebagai pelarut hidrokarbon. Dalam penelitian ini didapatkan data persentase hidrokarbon yang terpisahkan dari tanah oleh cHAL sebagaimana pada grafik terdapat pada Gambar 4.15.



Gambar 4. 14 Filtrat Penyaringan Hasil Soil Washing



Gambar 4. 15 Grafik Pemisahan Hidrokarbon oleh cHAL

. Oleh karena itu dalam pemisahan hidrokarbon ini, peran isolat cHAL hari ke-20 sebagai penurun tegangan permukaan dan emulsifier yang berkerja secara bersama sehingga mampu memisahkan hidrokarbon dari tanah secara optimum. Pada hari ke-60 dengan kadar cHAL sebesar 1,05% serta penurunan tegangan permukaan dan aktivitas emulsifikasi sebesar 21,35 dyne/cm dan 6,55% didapatkan pemisahan hidrokarbon minimum yaitu 3,73%. Hal ini menunjukkan peran penurunan tegangan permukaan dan kemampuan emulsifikasi oleh isolat cHAL sampah kebun belum mampu memisahkan hidrokarbon dari ikatan tanah.

Isolat cHAL hasil ekstraksi sampah rumen sapi memiliki kemampuan me-pemisahan hidrokarbon dari ikatan tanah tercemar sebesar 0,47-39,61%. Berdasarkan grafik pada Gambar 4.15, pemisahan hidrokarbon oleh cHAL isolat rumen sapi mengalami kenaikan dari hari ke-0 hingga mencapai optimum pada hari ke-40 dan mengalami penurunan pada hari ke-60. Pemisahan hidrokarbon optimum sebesar 39,61% dan minumum sebesar 0,47%. Pada kondisi pemisahan maksimum cHAL mempunyai karakteristik penurunan tegangan permukaan dan kemampuan emulsifikasi yang juga optimum yaitu 22,5 dyne/cm dan 38,05%. Maka dapat dikatakan pencapaian pemisahan hidrokarbon optimum didapatkan dari peran isolat cHAL sebagai penurun tegangan permukaan dan emulsifier optimum.

Di sisi lain, isolat cHAL mengalami penurunan pemisahan hidrokarbon pada hari ke-60 menjadi 20,96%. Hal ini berkaitan dengan karakteristik penurunan tegangan permukaan sebesar 22,25 dyne/cm dan kemampuan emulsifikasi 37,95% yang mana lebih rendah daripada hari ke-40. Oleh karena itu, isolat cHAL mengalami penurunan peran dalam memisahkan hidrokarbon dari ikatan tanah. Berdasarkan teori, dalam proses huminifikasi dapat terjadi pembentukan humin yang merupakan residu tidak larut baik dalam kondisi asam maupun basa. Humin cenderung memperkuat ikatan dengan zat pada tanah, salah satunya yaitu pencemar berupa hidrokarbon (Senesi *et al.*,1991). Hal tersebut mengakibatkan penurunan kemampuan pemisahan oleh isolat cHAL pada hari ke-60 dikarenakan adanya humin.

Isolat cHAL dari rasio optimum (T/S) mempunyai bentuk grafik pemisahan hidrokarbon yang mirip dengan isolat sampah rumen sapi yaitu meningkat hingga hari ke-40 lalu turun pada hari

ke-60. Pemisahan hidrokarbon dari ikatan tanah sebesar 3,97-41,55%, optimum pada hari ke-40 yaitu sebesar 41,55%. Setelah itu, pada hari ke-60 mengalami penurunan dengan jumlah yang besar menjadi 7,77%. Humin sebagai salah satu senyawa organik pada tanah merupakan bagian dari residu yang sifatnya tidak larut pada basa dan asam. Humin tidak mempunyai gugus fungsi pembawa peran hidrofobik dan hidrofilik seperti cHAL (Senesi *et al.*,1991). Hal inilah yang mengakibatkan penurunan pemisahan hidrokarbon oleh cHAL pada hari ke 60.

Berdasarkan analisis ini, maka didapatkan pemisahan optimum oleh masing-masing sumber cHAL sebagaimana pada Tabel 4.5. Berdasarkan Tabel 4.5, tampak bahwa cHAL mampu menghasilkan pemisahan hidrokarbon terbesar oleh sampah kebun hari ke-20 sebesar 46,56%. Selanjutnya persentase terbesar kedua yaitu oleh rasio optimum antara sampah dan tanah tercemar (50:50) sebesar 41,55%. Kemudian isolat rumen sapi dan tanah tercemar pada hari ke-40 sebesar 39,61% dan 7,62%. Sedangkan oleh Tween 80 pada konsentrasi 1,5% didapatkan pemisahan hidrokarbon sebesar 75,97%, yang mana perbedaan moblisasi antara cHAL dari berbagai sumber terhadap Tween 80 1,5% sebesar 33,84%.

Tabel 4. 5 Komparasi Pemisahan Hidrokarbon Optimum cHAL

No	Sumber Isolat cHAL	% Pemisahan Hidrokarbon Optimum
1	Sampah Kebun Hari Ke-20	46,56
2	Rasio Optimum Hari Ke-40	41,55
3	Rumen Sapi Hari Ke-40	39,61
4	Tanah Tercemar Hari Ke-40	7,62

Hasil isolat cHAL optimum sesuai Tabel 4.5 mengandung asam humat. Data pendukung kandungan asam humat pada cHAL berupa hasil analisis dengan metode Spektrofotometri FTIR terhadap isolat cHAL. Melalui metode ini dapat diketahui gugus fungsi dari sampel cHAL. Pada penelitian ini analisis FTIR yang dilakukan untuk mengetahui secara kualitatif gugus fungsi asam humat pada cHAL sehingga mengetahui potensi sifat hidrofobik dan hidrofiliknya. Berikut merupakan hasil FTIR dari tiap-tiap sumber cHAL terdapat pada Tabel 4.6.

Tabel 4. 6 Gugus Fungsi Hasil FTIR

No	Sumber Asam Humat	Gugus Fungsi	Pita Serapan (cm ⁻¹)		Keterangan
			Rentang*	Terbaca	
1	Isolat Tanah Gambut (**)	-OH	3000-3450	3425	Kuat (curam) melebar
		- COOH	1300-1490	1381	Kuat (curam)
		ester, eter dan keton	1080-1760	1527, 62	Kuat (curam)
		C=C dalam siklik dan benzena (aromatik)	1500-1600	1635, 64	Kuat (curam)
		Alifatik	2850-3000	2854	Kuat (tidak curam)
2	Isolat cHAL Tanah Tercemar	-OH	3000-3450	3448	Kuat (curam) melebar
		- COOH	1300-1490	1396,48	Lemah (landai)
		ester, eter dan keton	1080-1760	1527,62	Lemah (landai)
		C=C (siklik dan benzena /aromatik)	1500-1600	1635, 64	Kuat (curam)
		Alifatik	2850-3000	2931,80	Lemah (landai)
3	Isolat cHAL Sampah Kebun	-OH	3000-3450	3471,81	Kuat (curam) melebar
		- COOH	1300-1490	1342,46	Lemah (landai)
		ester, eter dan keton	1080-1760	1512, 19	Lemah (landai)
		C=C (siklik dan benzena /aromatik)	1500-1600	1620, 21	Kuat (curam)
		Alifatik	2850-3000	2931,80	Lemah (landai)

No	Sumber Asam Humat	Gugus Fungsi	Pita Serapan (cm ⁻¹)		Keterangan
			Rentang*	Terbaca	
4	Isolat cHAL Rumen Sapi	-OH	3000-3450	3425,58	Kuat (curam) melebar
		- COOH	1300-1490	1381	Lemah (landai)
		ester, eter dan keton	1080-1760	1527, 62	Lemah (landai)
		C=C (siklik dan benzena /aromatik)	1500-1600	1635, 64	Kuat (curam)
		Alifatik	2850-3000	2939,52	Lemah (landai)
5	Isolat cHAL Rasio Optimum	-OH	3000-3450	3448, 72	Kuat (curam) melebar
		- COOH	1300-1490	1265,3	Lemah (landai)
		ester, eter dan keton	1080-1760	1519, 91	Lemah (landai)
		C=C (siklik dan benzena /aromatik)	1500-1600	1635, 64	Kuat (curam)
		Alifatik	2850-3000	-	Tidak muncul pita serapan

Keterangan :

*Silverstein *et al.* (2005) dan www.le.ac.uk/chemistry

**Utami dkk (2009)

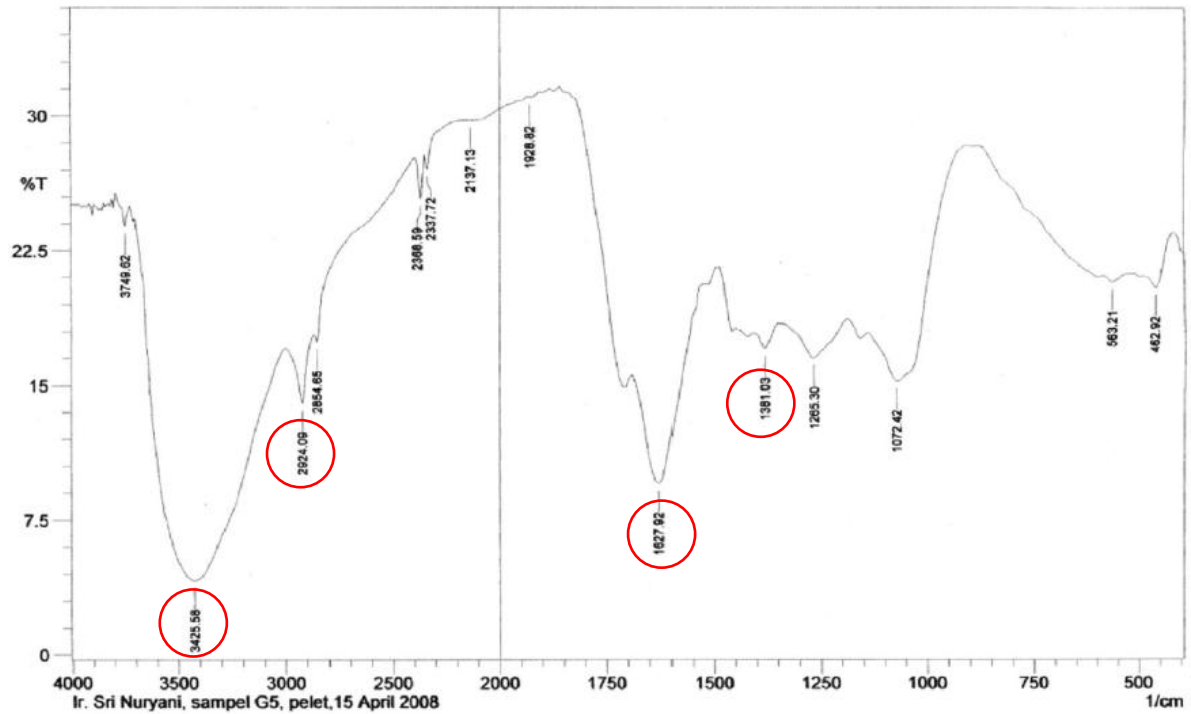
A. Analisis FTIR cHAL Tanah Tercemar (TT)

Berdasarkan pola serapan pada Tabel 4.6 menunjukkan adanya serapan kuat melebar pada bilangan serapan kuat melebar $3425,58\text{ cm}^{-1}$ yang merupakan vibrasi ulur dari -OH. Menurut Valat *et al.* (1991) gugus -OH ini adalah pembawa sifat hidrofilik. Di samping itu sifat hidrofilik juga dibawa oleh gugus COOH berupa garam karboksilat pada puncak 1381 cm^{-1} serta gugus-gugus alifatik C-H, C-H₂ dan C-H₃ pada puncak $2931,8\text{ cm}^{-1}$. Pembawa sifat hidrofobik yaitu ester, eter dan keton (puncak $1527, 62\text{ cm}^{-1}$) dan gugus C=C dalam bentuk siklik dan benzena (aromatik) pada puncak $1635, 64\text{ cm}^{-1}$ meskipun *peak* yang dihasilkan tidak curam.

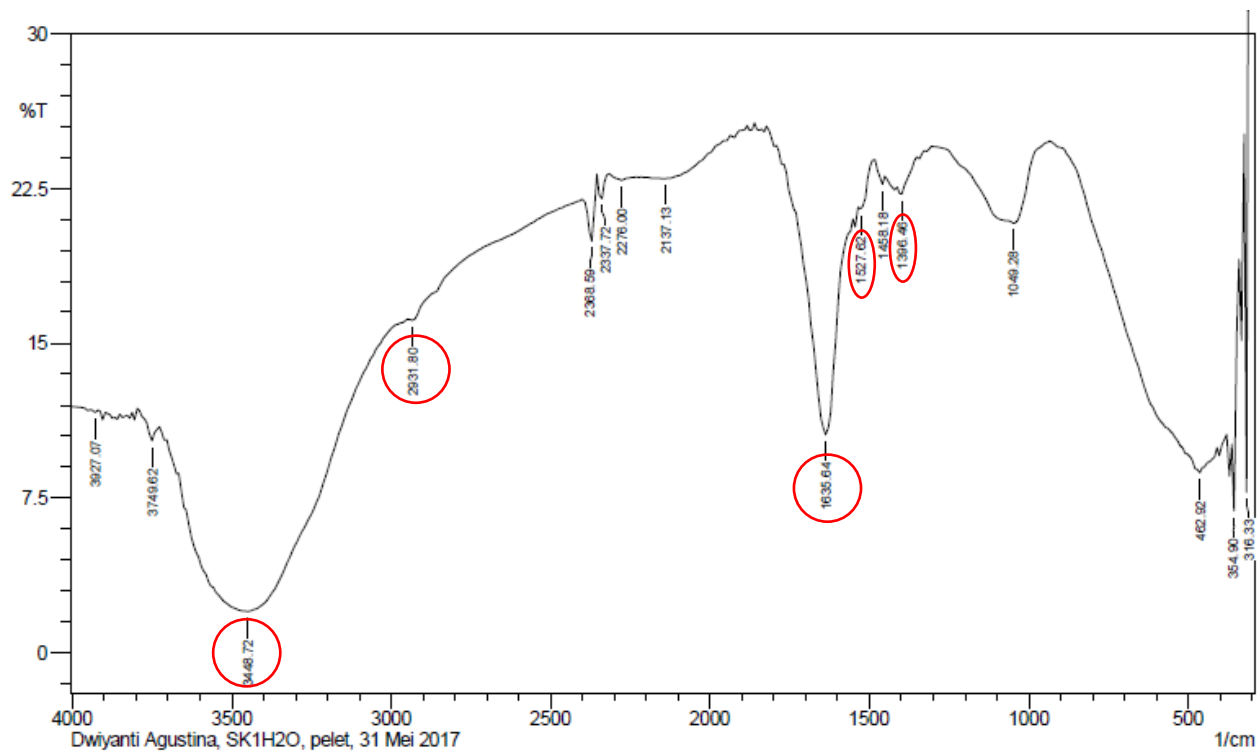
Hasil analisis FTIR pada tanah tercemar ini dibandingkan dengan teori yang dikemukakan oleh Valat *et al.* (1991) tentang hidrofibisitas gambut yang menyatakan bahwa yang dapat menyebabkan watak hidrofobik pada tanah gambut yaitu :

1. kandungan asam humat yang secara alami menunjukkan sifat hidrofobik, karena partikelpartikel diselaputi oleh lilin,
2. adanya gugus nonpolar seperti etil, metil dan senyawa aromatik yang bersifat hidrofobik, sementara gugus yang bersifat hidrofilik berkurang yaitu karboksilat, hidroksil, dan
3. penyerapan senyawa bersifat hidrofobik seperti minyak, lemak dan fraksi N-organik pada permukaan fraksi humat.

Utami dkk (2009) melakukan analisis FTIR terhadap lahan gambut di Kalimantan Tengah dengan hasil pada Gambar 4.16 untuk mengetahui kandungan hidrofobik dan hidrofiliknya sehingga didapatkan data gambut hidrofilik Kelampangan, puncak 3425 cm^{-1} yang mengindikasikan keberadaan ikatan hidrogen, gugus OH grup dan OH bebas menunjukkan persentase luas area paling besar yaitu lebih dari 40%. Gugus ini adalah pembawa sifat hidrofilik gambut. Di samping itu sifat hidrofilik juga dibawa oleh gugus COOH berupa garam karboksilat pada puncak 1381 cm^{-1} dan ion karboksilat pada puncak 2854 cm^{-1} serta gugus-gugus alifatik C-H, CH₂ dan C-H₃ pada puncak 2924 cm^{-1} . Pembawa sifat hidrofobik yaitu ester, eter dan fenol (puncak 1627 cm^{-1}) dan gugus C=C dalam bentuk siklik dan benzena pada puncak 1627 cm^{-1} . Oleh karena itu secara kualitatif pada sampel cHAL dari tanah tercemar mempunyai sifat hidrofobik dan hidrofilik dari gugus fungsinya..



Gambar 4. 16 Grafik Hasil Analisis Tanah Gambut dari Kelampangan.



Gambar 4. 17 Analisis FTIR cHAL Sampah Kebun (SK)

B. Analisis FTIR cHAL Sampah Kebun (SK)

Sajian grafik hasil analisis FTIR terhadap cHAL isolat dari sampah kebun (SK) tampak pada Gambar 4.17. Berdasarkan pola serapan pada Gambar 4.17 tersebut menunjukkan adanya serapan gugus fungsi pembawa sifat hidrofobik dan hidrofilik, yaitu sebagai berikut.

1. Serapan gugus pembawa sifat hidrofilik meliputi gugus -OH pada puncak 3448 cm^{-1} gugus COOH berupa garam karboksilat pada puncak $1396,48\text{ cm}^{-1}$ serta gugus-gugus alifatik C-H, C-H₂ dan C-H₃ pada puncak $2931,80\text{ cm}^{-1}$.
2. Pembawa sifat hidrofobik yaitu ester, eter dan keton (puncak $1527,62\text{ cm}^{-1}$) meskipun *peak* yang dihasilkan tidak curam dan gugus C=C dalam bentuk siklik dan benzena (aromatik) pada puncak $1635,64\text{ cm}^{-1}$.

Oleh karena itu secara kualitatif pada sampel cHAL isolat dari sampah kebun mempunyai sifat hidrofobik dan hidrofilik berdasarkan sifat pembawa gugus fungsinya

C. Analisis FTIR cHAL Sampah Rumen Sapi (SR)

Berdasarkan pola serapan pada Tabel 4.6 tersebut menunjukkan adanya serapan gugus fungsi pembawa sifat hidrofobik dan hidrofilik, yaitu sebagai berikut.

1. Serapan gugus pembawa sifat hidrofilik meliputi gugus -OH pada puncak $3471,81\text{ cm}^{-1}$ gugus COOH berupa garam karboksilat pada puncak $1342,46\text{ cm}^{-1}$ serta gugus-gugus alifatik C-H, C-H₂ dan C-H₃ pada puncak $2939,52\text{ cm}^{-1}$ meskipun *peak* yang dihasilkan tidak curam.
2. Pembawa sifat hidrofobik yaitu ester, eter dan keton (puncak $1512,19\text{ cm}^{-1}$) dan gugus C=C dalam bentuk siklik dan benzena (aromatik) pada puncak sebesar $1620,21\text{ cm}^{-1}$.

Oleh karena itu secara kualitatif pada sampel cHAL isolat dari sampah kebun mempunyai sifat hidrofobik dan hidrofilik berdasarkan sifat pembawa gugus fungsinya.

D. Analisis FTIR cHAL Rasio Optimum (T/S)

Berdasarkan pola serapan pada Tabel 4.6. tersebut menunjukkan adanya serapan gugus fungsi pembawa sifat hidrofobik dan hidrofilik, yaitu sebagai berikut.

1. Serapan gugus pembawa sifat hidrofilik meliputi gugus -OH pada puncak 3448, 72 cm^{-1} gugus COOH berupa garam karboksilat pada puncak 1265,3 cm^{-1} .
2. Pembawa sifat hidrofobik yaitu ester, eter dan keton (puncak 1519, 91 cm^{-1}) dan gugus C=C dalam bentuk siklik dan benzena (aromatik) pada puncak 1635, 64 cm^{-1} .

Oleh karena itu secara kualitatif pada sampel cHAL isolat dari sampah kebun mempunyai sifat hidrofobik dan hidrofilik berdasarkan sifat pembawa gugus fungsinya. Belum diketahui apakah keberadaan gugus fungsi dari cHAL mempengaruhi karakteristik cHAL baik dari kadar, penurunan tegangan permukaan maupun kemampuan emulsifikasi. Studi lebih lanjut tentang korelasi dan pengaruh gugus fungsi secara kimiawi terhadap karakteristik cHAL dapat dibutuhkan untuk melengkapi penelitian ini.

4.5.2 Soil Washing oleh Variasi Konsentrasi Tween 80

Soil washing terhadap tanah tercemar *crude oil* juga dilakukan dengan *surfactant* nonionik berupa Tween 80. Variasi konsentrasi Tween yaitu 0%, 0,5%; 1,0%; 1,5%; 2,0%; 2,5% dan 3,0%. Rasio massa tanah tercemar terhadap *surfactant* yaitu 1: 10 (m/v) (Hadrah, 2015). Hasil *soil washing* menggunakan Tween 80 ini sebagai pembanding cHAL dalam membantu desorpsi dan pemisahan hidrokarbon pada tanah tercemar *crude oil*.

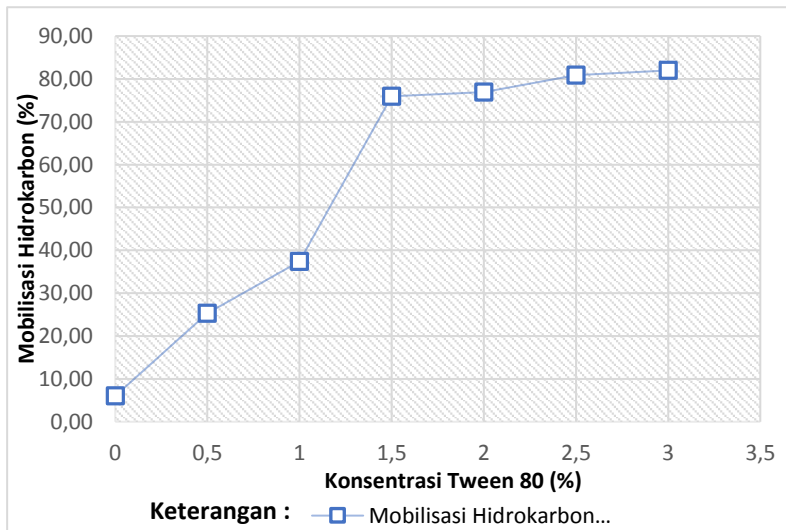
Saat tanah tercemar ditambahkan Tween 80 yang berwarna bening dengan berbagai konsentrasi, tanah tercemar menggumpal dan ada beberapa butiran tanah yang mengapung. Aroma sampel yaitu bau khas Tween 80. Setelah dilakukan agitasi sampel secara fisik mengalami perubahan warna menjadi coklat keruh (coklat susu) dan tanah tercampur (tersuspensi) dengan Tween 80. Terdapat buih di bagian permukaan atas cairan yang bervariasi sesuai dengan variasi konsentrasi. Setelah dilakukan filtrasi dihasilkan larutan filtrat yang bervariasi seiring dengan kenaikan konsentrasi Tween 80 yang ditambahkan maka warnanya dari bening hingga semakin coklat tua. Hal ini karena adanya minyak yang terlepas dari tanah.

Persentase hidrokarbon yang terpisahkan dari tanah karena penambahan Tween 80 dapat dihitung dengan pengukuran

kadar hidrokarbon yang tersisa pada tanah setelah *soil washing*. Dalam penelitian ini dilakukan perbandingan meliputi berikut ini.

4.5.2.1 Komparasi Pemisahan Hidrokarbon

Berdasarkan hasil *soil washing* dilakukan analisis kandungan hidrokarbon yang berada pada tanah sebelum dan sesudah agitasi dengan penambahan Tween 80 pada variasi konsentrasi 0%; 0,5%; 1,0%; 1,5%; 2%; dan 2,5%. Melalui variasi ini dapat diketahui konsentrasi optimum dari Tween 80 yang mampu mendesorbsi hidrokarbon dari tanah dengan persentase terbesar. Pemisahan Hidrokarbon oleh Tween 80 disajikan pada Gambar 4.18 memuat grafik pemisahan hidrokarbon oleh Tween 80.



Gambar 4. 18 Grafik Pemisahan Hidrokarbon oleh Tween 80

Berdasarkan Gambar 4.18 di atas, pemisahan hidrokarbon meningkat seiring dengan peningkatan konsentrasi Tween 80 yang ditambahkan. Mula-mula *soil washing* tanpa Tween 80 menghasilkan pemisahan hidrokarbon sebesar 6,02%. Selanjutnya dengan penambahan pada konsentrasi 0,5% mampu menghasilkan pemisahan hidrokarbon sebesar 25,5%. Peningkatan pemisahan hidrokarbon paling besar terjadi pada

penambahan konsentrasi 1,5% yaitu dengan selisih 38,54% sehingga didapatkan pemisahan hidrokarbon sebesar 75,97%. Pada penambahan konsentrasi 2% hingga 3% pemisahan hidrokarbon relatif stabil dan berada pada rentang angka yang dekat yaitu 76,93-81,98%. Mengacu pada hasil penelitian ini maka, penambahan *commercial surfactant* jenis Tween 80 optimum terhadap tanah tercemar *crude oil* dari pertambangan rakyat Desa Wonocolo sebesar 1,5% disebabkan oleh adanya rentang atau selisih pemisahan hidrokarbon yang paling besar pada konsentrasi tersebut.

Karakteristik Tween 80 pada konsentrasi 1,5% yaitu mempunyai penurunan tegangan sebesar 31 dyne/cm dan kemampuan emulsifikasi 60%. Pada peningkatan konsentrasi setelah 1,5% tegangan permukaan tidak mengalami penurunan tetapi mengalami kenaikan. Berbeda halnya dengan kemampuan emulsifikasi setelah 1,5% yang stabil pada angka 60-61%. Hal ini menunjukkan konsentrasi 1,5% mempunyai karakteristik Tween 80 yang optimum pada penelitian ini. Kondisi optimum karakteristik optimum Tween 80 1,5% mendukung kemampuannya dalam memisahkan menghasilkan peningkatan persentase hidrokarbon yang terpemisahan.

Salah satu penelitian oleh Hadrah (2015) pada tanah *sandy loam* yang digunakan sebagai sampel, terlihat adanya bongkahan serbuk kayu dalam jumlah yang lebih banyak bila dibandingkan dengan sampel lainnya. Hal tersebut memungkinkan tingginya kandungan komponen organik (*humic compound*) pada tanah ini. Oleh karena itu, pemisahan kontaminan TPH pada tanah *sandy loam* tidak lebih tinggi bila dibandingkan dengan tanah *sand* (sampel 1). Pemisahan kontaminan dari penggunaan larutan *surfactant* terlihat stabil mulai dari konsentrasi larutan 0,5% yaitu sebesar 42,81% dengan TPH akhir sebesar 25.607 mg/kg. Peningkatan konsentrasi *surfactant* selanjutnya akan mengakibatkan rata-rata penambahan efisiensi pemisahan TPH sebesar 13,7%, sehingga konsentrasi *surfactant* optimum pada 0,5%.

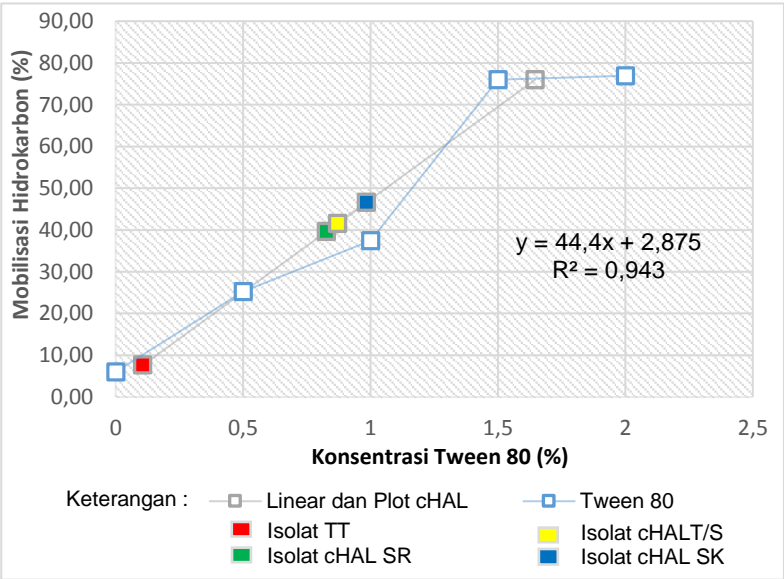
Hadrah (2015) menambahkan pada penelitiannya bahwa penggunaan larutan *surfactant* pada tanah dengan kandungan *clay* yang cukup tinggi akan mengakibatkan perlunya penambahan *surfactant* secara lebih. Akibatnya konsentrasi larutan yang

digunakan cukup tinggi. Berdasarkan analisis tersebut pemisahan kontaminan mulai stabil dengan penambahan larutan *surfactant* sebesar 1%. Adapun kontaminan yang tersisih adalah sebesar 43,20% sehingga kandungan TPH akhir dari tanah ini adalah 9,152 mg/kg. Oleh karena itu, konsentrasi larutan *surfactant* yang akan digunakan untuk tanah jenis *loam* adalah 1%.

Komparasi antara cHAL dan Tween 80 juga dapat dilakukan berdasarkan hasil pemisahan hidrokarbonnya, pada titik optimum dari masing-masing sumber *surfactant* setelah proses *soil washing*. Pada Gambar 4. 19 menunjukkan letak pemisahan optimum oleh isolat dari masing-masing sumber cHAL terhadap pemisahan oleh Tween 80. Letak tersebut didapatkan dengan pendekatan persamaan regresi dari pemisahan hidrokarbon oleh Tween 80. Dipilih titik pada grafik pemisahan hidrokarbon pada Tween 80 dengan rentang konsentrasi 0% hingga 2% sebesar 6,02–76,93%, karena pemisahan oleh cHAL optimum pada masing-masing sumber terdapat pada rentang tersebut yaitu 7,62–46,56%. Apabila diambil pemisahan oleh isolat cHAL tertinggi yaitu sampah kebun 46,56%; rumen sapi 41,55%; rasio optimum 39,61% dan tanah tercemar 7,62% dibandingkan dengan pemisahan hidrokarbon oleh Tween optimum yaitu 76,93%, maka kemampuan cHAL dalam memisahkan hidrokarbon dari tanah sebesar sampah kebun 0,6 kali; rumen sapi 0,54 kali; rasio optimum 0,51 kali dan tanah tercemar 0,01% dari kemampuan Tween 80.

Berdasarkan grafik pada Gambar 4.19 didapatkan rumus persamaan regresi yaitu $y = 44,4x + 2,785$. Persamaan ini digunakan untuk mengestimasi letak pemisahan hidrokarbon oleh cHAL pada grafik pemisahan hidrokarbon oleh Tween 80. Melalui hasil pemisahan hidrokarbon oleh cHAL digunakan sebagai titik y, maka didapatkan titik pertemuan sumbu x yang merupakan letak estimasi konsentrasi Tween 80 yang hampir setara memisahkan hidrokarbon dengan cHAL optimum. Hasil perhitungan estimasi konsentrasi Tween 80 tersebut terdapat pada Tabel 4.7. Hasil perhitungan sekaligus menjadi komparasi antara pemisahan hidrokarbon oleh isolat cHAL dan Tween 80. Berdasarkan Tabel 4.7, didapatkan bahwa isolat cHAL sampah kebun hampir setara dengan Tween 80 dengan konsentrasi 0,98%. Sedangkan isolat cHAL dari rasio optimum dan sampah rumen sapi

berkisar pada konsentrasi Tween 80 sebesar 0,87 dan 0,83%. Sedangkan isolat cHAL tanah tercemar berada pada estimasi konsentrasi Tween 80 sebesar 0,106%.



Gambar 4. 19 Grafik Plot Pemisahan Hidrokarbon oleh cHAL pada Tween 80

Tabel 4. 7 Tabel Estimasi Konsentrasi Tween 80

No	Sumber <i>Surfactant</i>	% Pemisahan HC Optimum	Ekuivalen terhadap Konsentrasi Tween 80 (%)
1	Sampah Kebun	46,56	0,98
2	Isolat cHAL	Rasio Optimum	0,87
3		Sampah Rumen Sapi	0,83
4	Tanah Tercemar	7,62	0,106

Berdasarkan hasil perbandingan karakteristik cHAL dan Tween 80 1,5%, didapatkan bahwa cHAL mempunyai potensi kemampuan emulsifikasi dan penurunan tegangan permukaan

sama halnya dengan Tween 80 1,5%. Selain itu cHAL juga mampu memisahkan hidrokarbon dari tanah tercemar *crude oil* seperti halnya Tween 80. Hal tersebut menunjukkan bahwa cHAL berpotensi sebagai *biobased surfactant*. Di sisi lain pada proses *co-composting* penyisihan tanah tercemar *crude oil*, belum memperhitungkan adanya *biosurfactant* yang diteliti oleh peneliti lain.

4.5.2.2 Komparasi secara Pembiayaan

Kompos sebagai salah satu sumber potensial bahan kimia, salah satunya kompos dari campuran residu makanan dan sampah taman yang di komposkan selama 15 hari. Proses *composting* akan menghasilkan produk yang berbeda tergantung dari campuran bahan kompos dan waktu pengomposan. Hal tersebut berkaitan dengan pengaturan dari proses pengomposan sehingga menghasilkan cHAL dengan karakteristik tertentu. Penggunaan kompos sebagai salah satu sumber *bio based surfactant* pada dasarnya mempunyai nilai ekonomis yang tinggi. Kompos yang biasanya digunakan sebagai *fertilizer* mempunyai nilai jual yang tidak lebih dari 15 €/ton dengan biaya proses sekitar 70 €/ton. *Composting* sampah perkotaan dan sampah sayuran membutuhkan biaya sekitar 55 €/ton. Disisi lain harga *surfactant* di pasaran berkisar 1000-200 €/ton (Modler *et al.*, 2007).

Berdasarkan suatu penelitian oleh Savarino *et al.* (2007) menunjukkan bahwa cHAL yang diisolasi dari kompos berbahan dasar sampah makanan dan sampah dengan umur pengomposan selama 15 hari. Apabila diasumsikan cHAL dapat menggantikan *commercial surfactant* sebagai contohnya *Sodium Dodecylbenzenesulfonate* (SDBS), maka akan mengurangi biaya sekitar 1 €/kg (Modler *et al.*, 2007). Demikian melalui penggunaan kompos sebagai sumber *biobased surfactant* mampu meningkatkan harga jual dari biomassa sampah menjadi 120 €/ton, berasal dari penjualan *biobased surfactant*. Secara umum sampah kota dan sampah sayuran hanya sebagian kecil dari timbulan sampah. Aplikasi kompos sebagai sumber *biobased surfactant* juga dapat dilakukan dengan isolasi cHAL dari beberapa sumber biomassa seperti residu pertanian, pupuk dari hewan, residu hutan, sampah rumen sampah dari industri makanan, dan lumpur saluran drainase. Variasi sumber *biobased surfactant* mengandung variasi

biobased surfactant yang dihasilkan daripada *commercial surfactant* yang tersedia karena sintetis kimia. Fakta lain, bahwa *biobased surfactant* juga lebih ramah lingkungan dan penggunaannya dapat pada skala besar di era modern (Savarino *et al.*, 2007).

4.6 Uji Statistik ANOVA Hasil Penelitian

Data hasil penelitian masing-masing parameter dianalisis terlebih dahulu dengan melihat data berdistribusi normal atau tidak dengan menggunakan uji *Kolmogorov-Smirnov*. Kemudian homogenitas varians juga dianalisis dengan uji *Levene test*. Uji distribusi normal dan homogenitas menggunakan Minitab 6. Data penelitian menunjukkan hasil terdistribusi normal dan homogen maka dapat dilanjutkan dengan analisis ANOVA *one way test*. Hasil uji statistik dalam penelitian ini meliputi

A. Pengaruh Variasi Sumber cHAL terhadap Karakteristik cHAL

Kadar cHAL

Hipotesis awal pada analisis ANOVA yaitu:

H₁: ada pengaruh variasi sumber cHAL terhadap kadar cHAL

H₀: tidak ada pengaruh variasi sumber cHAL terhadap kadar cHAL

Tingkat kepercayaan yang ditentukan sebesar 95%, maka didapatkan nilai F untuk $F_{hitung} = 11,11$ dan $F_{tabel} = 3,49$. Oleh karena itu hasil $F_{hitung} \geq F_{tabel}$ maka tolak H₀. Nilai p sebesar $0,001 \leq$ dari 0,05. Maka kesimpulan dari uji statistik ini yaitu ada pengaruh variasi sumber cHAL terhadap kadar cHAL.

Penurunan Tegangan Permukaan cHAL

Hipotesis awal pada analisis ANOVA yaitu:

H₁: ada pengaruh variasi sumber cHAL terhadap penurunan tegangan permukaan oleh cHAL

H₀: tidak ada pengaruh variasi sumber cHAL terhadap penurunan tegangan permukaan oleh cHAL

Tingkat kepercayaan yang ditentukan sebesar 95%, maka didapatkan nilai F untuk $F_{hitung} = 3,54$ dan $F_{tabel} = 3,49$ dimana nilai p sebesar $0,032 \leq$ dari 0,05. Oleh karena itu hasil $F_{hitung} \geq F_{tabel}$ maka tolak H₀. Nilai p didapatkan sebesar $0,032 \leq$ dari 0,05.

Kesimpulan dari uji statistik ini, terdapat pengaruh variasi sumber *cHAL* terhadap penurunan tegangan permukaan oleh *cHAL* secara signifikan.

Aktivitas Emulsifikasi *cHAL*

Hipotesis awal pada analisis ANOVA yaitu:

H_1 : ada pengaruh variasi sumber *cHAL* terhadap aktivitas emulsifikasi *cHAL*

H_0 : tidak ada pengaruh variasi sumber *cHAL* terhadap aktifitas emulsifikasi *cHAL*

Tingkat kepercayaan yang ditentukan sebesar 95%, maka didapatkan nilai F untuk $F_{hitung} = 7,88$ dan $F_{tabel} = 3,49$ dimana nilai p sebesar $0,004 \leq$ dari $0,05$. Hasil $F_{hitung} \geq F_{tabel}$ maka tolak H_0 , sehingga didapatkan kesimpulan bahwa ada pengaruh variasi sumber *cHAL* terhadap aktivitas emulsifikasi *cHAL* secara signifikan.

Berdasarkan uji statistik terhadap karakteristik *cHAL* dari berbagai sumber *cHAL* maka ditentukan bahwa terdapat pengaruh secara signifikan variasi sumber *cHAL* terhadap karakteristik *cHAL* pada parameter kadar *cHAL*, penurunan tegangan permukaan dan aktivitas emulsifikasi.

B. Pengaruh Variasi Sumber *cHAL* terhadap Pemisahan Hidrokarbon

Hipotesis awal pada analisis ANOVA yaitu:

H_1 : ada pengaruh variasi sumber *cHAL* terhadap pemisahan hidrokarbon

H_0 : tidak ada pengaruh variasi sumber *cHAL* terhadap pemisahan hidrokarbon

Tingkat kepercayaan yang digunakan sebesar 95%, maka didapatkan nilai p masing-masing variasi yaitu

1. P variasi isolat *cHAL* sampah rumen sapi p sebesar $0,021 \leq$ dari $0,05$ maka tolak H_0 , sehingga terdapat pengaruh signifikan variasi isolat *cHAL* sampah rumen sapi terhadap pemisahan hidrokarbon.
2. P variasi isolat *cHAL* sampah kebun p sebesar $0,044 \leq$ dari $0,05$ maka tolak H_0 , sehingga terdapat pengaruh signifikan variasi isolat *cHAL* sampah kebun terhadap pemisahan hidrokarbon.

3. P variasi isolat cHAL rasio optimum sampah dan tanah p sebesar $0,021 \leq$ dari 0,05 maka tolak H_0 , sehingga terdapat pengaruh signifikan variasi isolat cHAL rasio optimum sampah dan tanah terhadap pemisahan hidrokarbon.

Kesimpulan uji statistik ini yaitu ada pengaruh signifikan sumber cHAL terhadap pemisahan hidrokarbon.

C. Pengaruh Variasi Konsentrasi Tween 80 terhadap Pemisahan Hidrokarbon

Hipotesis awal pada analisis ANOVA yaitu:

H_1 : ada pengaruh variasi Tween 80 terhadap pemisahan hidrokarbon

H_0 : tidak ada pengaruh variasi Tween 80 terhadap pemisahan hidrokarbon

Tingkat kepercayaan yang digunakan sebesar 95%, maka didapatkan nilai F untuk $F_{hitung} = 36,18$ dan $F_{tabel} = 3,87$. Hasil $F_{hitung} > F_{tabel}$ maka tolak H_0 , sehingga simpulan dari uji statistik ini yaitu ada pengaruh variasi konsentrasi Tween 80 terhadap pemisahan hidrokarbon.

Hasil uji signifikansi yang dilakukan untuk mengetahui seberapa besar pengaruh variasi konsentrasi Tween 80 terhadap pemisahan hidrokarbon, menunjukkan bahwa berdasarkan nilai P yang dihasilkan dari perhitungan sebesar 0,013 yang mana lebih kecil dari 0,05. Maka diketahui terdapat pengaruh konsentrasi Tween 80 terhadap pemisahan hidrokarbon secara signifikan.

BAB 5

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis maka dapat ditentukan kesimpulan dari penelitian sebagai berikut:

1. Isolat cHAL yang terbentuk pada *co-composting* hari ke-0, 20, 40 hari dan 60 mempunyai karakteristik berikut.
 - a. Kandungan cHAL sebesar 0,372-1,074%, dengan kadar cHAL tertinggi dihasilkan oleh isolat sampah rumen sapi hari ke-60.
 - b. Penurunan tegangan permukaan sebesar 6,65–21,5 dyne/cm. Penurunan tegangan permukaan ≥ 10 dyne/cm pada isolat cHAL sampah kebun dan rumen sapi serta isolat tanah tercemar (hari ke-0, 20, 40) dan isolat rasio optimum (hari ke-40 dan 60). cHAL berpotensi sebagai salah satu *biobased surfactant* karena penurunan tegangan permukaan ≥ 10 dyne/cm. Penurunan tegangan permukaan optimum Tween 80 1,5% sebesar 31 dyne/cm. Rasio kemampuan penurunan tegangan permukaan isolat cHAL optimum terhadap Tween 80 sebesar isolat TT 0,42 ; isolat SK 0,68 ; isolat SR 0,73 ; dan isolat T/S 0,7. Oleh karena itu cHAL mempunyai potensi menurunkan tegangan permukaan sama halnya seperti Tween 80.
 - c. Kemampuan emulsifikasi sebesar 7,4–38,1% kecuali pada isolat tanah tercemar hari ke-0 dan 20 sebesar 0%. Adanya kemampuan emulsifikasi oleh cHAL menunjukkan potensi *biobased surfactant* sebagai emulsifier. Perbandingan AE isolat cHAL optimum terhadap Tween 80 1,5% dengan AE sebesar 60%. cHAL terhadap Tween 80 1,5% yaitu isolat TT 0,13, isolat SK 0,22; isolat SR 0,63 dan isolat T/S optimum 0,33. Oleh karena itu, cHAL mempunyai potensi meningkatkan aktivitas emulsifikasi seperti halnya Tween 80.
2. Penggunaan cHAL sebagai *biobased surfactant* yang terbentuk pada 0, 20, 40 dan 60 hari *co-composting* dalam *soil washing* tanah tercemar menghasilkan pemisahan hidrokarbon sebesar 0,99–46,56%. Pemisahan optimum oleh masing-masing isolat cHAL yaitu sampah kebun 46,56%,

rasio optimum antara sampah dan tanah tercemar (50:50) 41,55%, rumen sapi 39,61% dan tanah tercemar 7,62%.

3. Konsentrasi optimum Tween 80 didapatkan sebesar 1,5% mampu memisahkan hidrokarbon sebesar 75,97%. Apabila pemisahan hidrokarbon optimum oleh isolat cHAL dibandingkan dengan konsentrasi Tween 80 maka didapatkan bahwa rasio kemampuan cHAL terhadap kemampuan Tween 80 dalam memisahkan hidrokarbon. Rasio tersebut meliputi sampah kebun 0,6; rumen sapi 0,54; komposisi T/S optimum 0,51 dan tanah tercemar 0,01. Sedangkan estimasi konsentrasi Tween 80 dari pemisahan hidrokarbon oleh cHAL meliputi sampah kebun sebesar 0,98%, rasio optimum 0,87%, sampah rumen sapi 0,83% dan tanah tercemar 0,106%. Dapat ditentukan bahwa cHAL mempunyai potensi dalam memisahkan hidrokarbon dari tanah tercemar seperti halnya seperti Tween 80.

5.2 Saran

Saran yang dapat diberikan berdasarkan hasil penelitian ini untuk penelitian selanjutnya yaitu:

1. Perlunya studi tentang karakteristik tanah tercemar secara geologis terkait korelasi tekstur tanah dengan pengikatan kontaminan hidrokarbon, karena *soil washing* sangat dipengaruhi oleh tekstur tanah tercemar.
2. Dapat dilakukan studi lebih lanjut tentang korelasi dan pengaruh gugus fungsi secara kimiawi terhadap karakteristik cHAL.

DAFTAR PUSTAKA

- Adveloic, J. Miletic, S., Beskoski, V., Ilic, M., Cvijovic, G., Vrvic, M. 2012. Humic Acid as Natural Surfactant. *New Enviro Educons University*, 69-71.
- Agarry, S. E., Owabor, C. N., dan Yusuf, R. O. 2010 . Bioremediation of Soil Artificially Contaminated with Petroleum Hydrocarbon Oil Mixtures: Evaluation of The Use of Animal Manure and Chemical Fertilizer. *Bioremediation Journal*, 14 (4), 189-195.
- Agustian, P. S dan Gusnidar. 2004. Pembentukan Asam Humat Dan Fulvat Selama Pembuatan Kompos Jerami Padi. *J. Solum Vol. I* No. 1, Januari 2004: 9 – 14.
- Ali, M. 2012. *Tinjauan Proses Bioremediasi melalui Pengujian Tanah Tercemar Minyak*. Surabaya: UPN Press.
- Alimin, N., Santosa, S.J., Noegrohati, S. 2005. Fraksinasi Asam Humat dan Pengaruhnya Pada Kelarutan Ion Logam Seng (II) dan Kadmium (II). *Jurnal Ilmu Dasar Vol. 6 (1)* : 1-6.
- Almansoor, A. F., Hasan, H. A., Idris, M., Abdullah, S. R. S., Anuar, N. 2015. Potential Application of A Biosurfactant In Phytoremediation Technology for Treatment of Gasoline-Contaminated Soil. *Journal of Ecological Engineering*, 84, 113-120.
- Alvarado, V., Manrique, E. 2010. Enhanced Oil Recovery: An Update Review. *Energies* 3(9): 1529-1575. 26.
- Alvarez-Nunez, F. A., Yakowsky, S. H. 2000. Relationship Between Polysorbate 80 Solubilization Descriptors And Octanol-Water Partition Co-Efficient Of Drugs. *Int J Pharm*, 200, 217-222.
- Anam, C. S. April 2007. Analisis Gugus Fungsi Pada Sampel Uji, Bensin Dan Spiritus Menggunakan Metode Spektroskopi FT-IR. *Jurnal Berkala Fisika*. Vol 10 no.1. 79 – 85.
- Antizar-Ladislao, B., Lopez-Real, J., dan Beck, A. J. 2005. In Vessel Composting-Bioremediation of Aged Coal Tar Soil: Effect of Temperature and Soil/Green Waste Amendment Ratio. *Environmental International*, 31, 173-178.
- Anonim. 2016. *Windrow Composting*. <http://gwri.calpoly.edu/cgi-bin/> diakses pada 14 Februari 2017.
- Anonim. 2016. <http://velp.com> diakses pada 2 Februari 2016 pukul 20.05 WIB.

- Anonim. www.le.ac.uk/chemistry. 2012 diakses pada 10 Juni 2017 pukul 09.45 WIB.
- Anonim. 2010. *Humic Acid Compositions of IHSS Samples*. International Humic Substances Society.
- APHA, AWWA, dan WEF. 2005. *Standard Methods for The Examination of Water and Wastewater 21th Edition*. Washington D.C.: American Public Health Association.
- Asquith, E.A., Geary, P.M. , Nolan, A.L., Evan, C.A. 2011. Comparative Bioremediation of Petroleum Hydrocarbon-Contaminated Soil by Biostimulation, Bioaugmentation and Surfactant Addition. *Journal of Environmental Science and Engineering*, 1, 637-650.
- ASTM (American Society for Testing and Material) D 1331 2000. *Annual Book of ASTM Standards: Soap and Other Detergents, Polishes, Leather, Resilient Floor Covering*. Baltimore: ASTM.
- Atagana, H. I. 2008. Compost Bioremediation of Hydrocarbon-Contaminated Soil Inoculated with Organic Manure. *African Journal of Biotechnology*, 7 (10), 1516-1525.
- Azwanida, N, N. 2015. A Review on The Extraction Methods Use Medical Plants, Principle, Strength and Limitation. *Journal of Medical and Aromatic Plants*, 4, 3-6.
- Baldan, E., Basaglia, M., Fontana, F., Shapleigh, J. P., dan Casella, S. 2015. Development, Assesment, and Evaluation of A Biopile for Hydrocarbons Soil Remediation. *International Biodeterioration and Biodegradation*, 98, 66-72.
- Barakwan, R. A. 2017. Penyisihan Hidrokarbon Pada Tanah Tercemar *Crude Oil* Di Pertambangan Minyak Bumi Rakyat Wonocolo, Bojonegoro Dengan Metode *Co-Composting* Aerobik. Tugas Akhir. Departemen Teknik Lingkungan ITS.
- Barge, F., Fels, L. E., Hajjouji, H. E., Amir, S., Winterson, P., Hafidi, M. 2012. Molecular Behavior of Humic Acid-Like Substance During Co-Composting of Olive Mill Waste and The Organic Part of municipal Solid Waste. *International Biodeterioration and Biodegradation*, 74, 17-23.
- Bera, A., Kumar, T., Ojha, K. 2013. Adsorption of Surfactants on Sand Surface in Enhanced Oil Recovery: Isotherms, Kinetics and Thermodynamic Studies. *Applied Surface Science* 284: 87-99. 29.

- Bera. A., Mandal, A. 2015. Micro Emulsions: A Novel Approach to Enhanced Oil Recovery: A Review. *Journal of Petroleum Exploration and Production Technology* 5(3): 255-268. 24.
- Bernal, M. P., Alburquerque, J. A., Moral, R. 2009. Composting of Animal Manures and Chemical Criteria for Compost Maturity Assessment A Review. *Bioresource Technology*, 100, 5444-5453.
- Boggs, J.R.S., Livermore, D.G., Seitz, M.G., 1985. *Journal of Macromol Science Rev. Macromol Chemical Physic.*, 25 (4), 599.
- Buurman, P., Lagen, V.B., Piccolo, A. 2002. Increase in Stability Against Thermal Oxidation of Soil Humic Substances as A Result of Self Association. *Journal Org Geochem*;33:367–81.
- Chen S., Deng Y., Chang C., Lee J., Cheng Y., Cui Z. 2015. Pathway And Kinetics Of Cyhalothrin Biodegradation By *Bacillus thuringiensis* Strain ZS-19. *Journal Scientific Report*, 5, 84-87.
- Chijioke-Osuji, C. C., Ibegbulam-Njoku, P. N., dan Belford, E. J. D. 2014. Biodegradation of Crude Oil Polluted Soil by Co-Composting with Agricultural Wastes and Inorganic Fertilizer. *Journal of Natural Sciences Research*, 4 (6), 28-39.
- Claesson, P.M., E.Blomberg, dan E.E. Poptoshev. 2001. *Surface Force and Emulsion Stability. In: Encyclopedia Handbook of Emulsion Technology.* , New York :Marcel Dekker.
- CLAIRE (Contaminated Land : Application in Real Environment). 2007 : Understanding Soil Washing, *Technical Bulletin*, **13**, 1-4.
- Cookson, J. 1995. *Bioremediation Engineering: Design and Application*. New York: Mc. Graw-Hill.
- Dabrowski, A. 2001. Adsorption-from theory to practice. *Adv Colloid Interface Sci* 93(1): 135-224. 22.
- Day, R. A. and A. L. Underwood. 2002. Analisis Kimia Kuantitatif. Edisi Keenam. Jakarta. Penerbit Erlangga. Hal 394, 396-404
- Desta, M.B. 2013. Batch Sorption Experiments: Langmuir and Freundlich Isotherm Studies for The Adsorption of Textile Metal Ions Onto Teff Straw (*Eragrostis Tef*) Agricultural Waste. *Journal of Thermodynamics*, p. 6. 23.

- Dewi, R.G. dan Siagian, U.,1992. The Potential of Biomass Residues as Energy Sources in Indonesia. *Energy Publ. Series No. 2*. CRE-ITB. Bandung.
- Ee Lin Soo, Salleh, A.B., Basri, M., Rahman, R.N.Z.A. dan Kamaruddin, K., 2003, Optimization of the Enzyme-catalyzed Synthesis of Amino Acid-based Surfactants from Palm Oil Fractions. *Journal of Biosci. and Bioeng*, 95, 361- 367.
- Environmental Protection Agency. 1991 : Guide for Conducting Treatability Studies under CERCLA : Soil Washing, *US EPA Quick Reference Fact Sheet*, 2, 540.
- Environmental Protection Agency. 1990: Soil Washing Treatment, *Engineering Bulletin, United States Environmental Protection Agency*.
- Eweis, E., Chans, dan Schoeder. 1998. *Bioremediation Principle*. Boston: Mc. Graw-Hill.
- Farn, R.J. 2006. *Chemistry and Technology of Surfactants*. Blackwell Publishing.
- Gajalakshmi, S., Abbasi, S. A. 2008. Solidwaste Management by Composting: State of The Art. *Environmental Science Technology*, 38, 311-400.
- Gasparovic, B., Cosovic, B., 2003. *Estuarian, Coastal and Shelf Science*, 58, 555.
- Gaudy, A. F. dan Gaudy, E. T. 1980. *Microbiology for Environmental Scientists and Engineers*. New York: McGraw-Hill Book Company.
- Genaro R. A, . 1990 : *Rhemington's Pharma Ceutikal Science*, 18th Ed. Pennsylvania : Mack Printing Company, Easton.
- Guetzloff, T.F., Rice, J.A. 1994. Does Humic Acid Form a Micelle? *Journal Sci Total Environ*;152:31–5.
- Hadrah. 2015. Optimasi Rasio *Solid/Liquid* Pada Teknik *Soil Washing* Tanah Terkontaminasi Minyak Dari Proses Eksplorasi Minyak Bumi. Tesis. Program Megister Teknik Lingkungan ITB.
- Halifah, S. A. 2012. *Pencemaran Tanah dan Dampaknya terhadap Lingkungan*. Pontianak: Jurusan Pendidikan MIPA, Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan Universitas Tanjungpura.
- Halim, A., Malik, M., Permata, D. 1997. Pengaruh *Surfactant* Terhadap Solubilisasi Kofein. *Jurnal Penelitian Andalas*, 21, 134-140

- Handrianto, P., Rahayu, S. Y., dan Yuliani. 2012. Teknologi Bioremediasi dalam Mengatasi Tanah Tercemar Hidrokarbon. *Prosiding Seminar Nasional Kimia Unesa 2012*, Surabaya: FMIPA Universitas Negeri Surabaya, 25 Februari 2012, hal. 22-30.
- Hapsari, P. P dan Trihadiningrum, Y. 2014. *Pengolahan Lumpur Berminyak dengan Metode Co-composting*. Surabaya: Jurusan Teknik Lingkungan, FTSP-ITS.
- Hargreaves, T. 2003. *Chemical Formulation: An Overview of Surfactant-Based Preparations Used In Everyday Life*. Cambridge : RSC Paperbacks.
- Hartomo, J. A. 1986. *Penyidikan Spektrometrik Senyawa Organik*. Edisi Keempat. Jakarta: Erlangga.
- Helmy, Q., Hidayat, S., Kardena, E., Nurachman, Z., Wisjnuaprpto. 2010. Produksi Biosurfactant Dalam Fermentor 10 Liter Dan Aplikasinya Dalam Bioremediasi Tanah Tercemar Minyak Bumi. *Jurnal Penelitian Masalah Lingkungan di Indonesia*, 195-205.
- Herawan,T., 1998. Biosurfactant : Aplikasi dan Peluang Minyak Sawit sebagai Bahan Bakunya. *Warta Pusat Penelitian Kelapa Sawit*, 6 (2), 83 - 92.
- Holmberg, K. 2001. Natural Surfactant. *Journal of Current Opinion in Colloid and Interface Science* (6), 148-159.
- Holmberg, K. Jönsson, B. Kronberg, B. Lindman, B. 2002. *Surfactants and Polymers in Aqueous Solution*, Second Edition. London: John Wiley and Sons. LTD.
- Interstate Technology and Regulatory Cooperation (ITRC) Work Group. 1997: Technical and Regulatory Guidelines for Soil Washing, *Soil Washing Project, Environmental Research Institute of the States (ERIS)*.
- Jack, T.R., 1993. M.O.R.E to M.E.O.R.: An Overview of Microbial Enhanced Oil Recovery. *Journal Development Petroleum Science*, 39, 7-16.
- Jatmika, A., 1998, Aplikasi Enzim Lipase dalam Pengolahan Minyak Sawit dan Minyak Inti Sawit Untuk Produk Pangan, *Warta Pusat Penelitian Kelapa Sawit*, 6 (1) : 31 - 37
- Karwati. 2009. *Degradasi Hidrokarbon pada Tanah Tercemari Minyak Bumi dengan Isolat A10 dan D8*. Bogor: Departemen Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam.

- Kasmidjo, R. B. 1990. *Penanganan Limbah Pertanian, Perkebunan, dan Industri Pangan*. Yogyakarta: UGM Press.
- Kementrian Lingkungan Hidup. 2003. Keputusan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 128 Tahun 2003 Tentang Tata Cara dan Persyaratan Teknis Pengolahan Limbah Minyak Bumi dan Tanah Terkontaminasi oleh Minyak Bumi secara Biologis.
- Khoerunisa, Fitri. 2005. *Kajian Adsorpsi dan Desorpsi $Ag(S_2O_3)_2^{3-}$ dalam Limbah Fotografi dari Adsorben Kitin dan Humat Teripemisahan pada Kitin*. Tesis. Yogyakarta : Universitas Gajah Mada.
- Khopkar, S.M. 2003. Kimia Analitis. Jakarta : UI-Press. Halaman 419.
- Kirk, J. L., Beaudette, L. A., Hart, M., Moutoglis, P., Klironomos, J. N., Lee, H., dan Trevors, J. T. 2004 . Methods of Studying Soil Microbial Diversity. *Journal of Microbiological Methods*, 58, 169-188.
- Kleber, M., Sollins, P., Sutton, R. A. 2007. Conceptual Model of Organo-Mineral Interactions in Soils: Self-Assembly of Organic Molecular Fragments into Zonal Structures on Mineral Surfaces. *Journal of Biogeochem* ;85:9–24.
- Kononova, M. M. 1966. *Soil Organik Matter, Its nature, Its Role in Soil Formation and in Soil Fertility*. Pergamon Press Oxford. London.
- Kulikowska, D., Gustiatin, Z. M., Bulkowska, K., Kierklo, K. 2015. Humic Substance from Sewerwge Sludge Compost as Washing Agent Effectively Remove Cu and Cd from Soil. *Journal of Chromosphere*, 136, 42-49.
- Leahy, J.G., Colwell, R.R. 1990. Microbial Degradation Of Hydrocarbons In The Environment. *Microbiol. Rev*, 5, 305-315.
- Liu, P. G., Chang, T. C., Whang, L. M., Kao, C. H., Pan, P. T., dan Cheng, S. S. 2011 . Bioremediation of Petroleum Hydrocarbon Contaminated Soil: Effects of Strategies and Microbial Community Shift. *International Biodeterioration and Biodegradation*, 65, 1119-1127.
- Mangan, J. L. 1959. Bloat in Cattle. *New Zealand Journal of Agricultural Research*, 2:1, 47-61.
- Mao, X. , Jiang, R., Xiao W., Yu, J. 2015. Use of Surfactants for The Remediation of Contaminated Soils: A Review. *J Hazard Mater* 285: 419-435.

- Margaritis, A., Zajic, J. E., Gerson, D. F. 1979. Production and Surface-Active Properties of Microbial Surfactants. *Journal of Biotechnology and Bioengineering*, 21, 1151-1162.
- Margesin, F. dan Schinner, F. 2005. *Manual of Soil Analysis: Monitoring and Assessing Soil Bioremediation*. Innsbruck, Austria: Springer.
- Marin, J. A., Moremo, J. L., Hernandez, T., Garcia, C. 2006. Bioremediation by Composting of Heavy Oil Refinery Sludge in Semiarid Conditions. *Biodegradation*, 17, 251-261.
- McMurry, J. 2007. *Organic Chemistry*. International Student Edition. China: Thomson.
- Michel S. R. 2011. *Effectivenesses of Acinetobacter sp. Biosurfactant on Oil Sludge Solubilization* [M.Sc. Thesis]. Airlangga University.
- Millar, C. E. , Turk, L. M., Foth, H. D. 1958. *Fundamentals of Soil Sciences*. 3 rd edition. New York : John Wiley and Sons Inc.
- Miller, F. C. 1992. Composting as A Process Based on The Control of Ecologically Selective Factors. *Metting F. B. Jr. (Ed), Soil Microbial Ecology, Applications in Agricultural and Environmental Management*, New York: Marcel Dekker, Inc, Hal. 515-544.
- Millar, C. E. 1959. *Soil Fertility*. New York: John Wiley and Sons Inc.
- Mizwar, A., dan Trihadiningrum, Y. 2016. *Penyisihan Polycyclic Aromatic Hydrocarbons pada Tanah Terkontaminasi Batubara dengan Metode Co-composting*. Surabaya: Jurusan Teknik Lingkungan, FTSP-ITS.
- Montoneri, E., Savarino, P., Bottigliengo, S., Musso, G., Boffa, V., Prevot, A. B., Febbri, D. dan Pramouro, E. 2008. Humic Acid-like matter Isolated from Green Urban Wastes: Performance in Chemical and Environment Technologies. *BioResources* 3 (1), 217-233.
- Moretto, L. M., Silvestri, S., Ugo, P., Zorzi, G., Abbondanzi, F., Baiocchi, C., dan Lacondini, A. 2005. Polycyclic Aromatic Hydrocarbons Degradation by Composting in A Soot-Contaminated Alkaline Soil. *Journal of Hazardous Materials*, 126, 141-148.
- Muntaha, S.T., Khan, M.N. 2015. Natural Surfactant Extracted from *Sapindus mukurossi* as An Eco-friendly Alternate to Synthetic

- Surfactant- A Dye Surfactant Interection Study. *Journal of Cleaner Production*, 93, 145-150.
- Myers, D. 2006. *Surfactant Science And Technology Third Edition*. Hoboken, New Jersey. : A John Wiley & Sons, Inc.
- Ni'matuzahroh, Alami, N. H., Khudlari, A. F T., Fatimah, Nurhariyati, T. 2010. Studi Kinetika Produksi Biosurfactant *Bacillus subtilis* 3KP Pada Substrat Molase. *Berk. Penel. Hayati*: 16 (33–38).
- Ni'matuzahroh, Nurmalasari, R., Silvia, R., A., Nurhariyati, T., Surtiningsih, T. 2015. Effectiveness in Enhancing Oil Recovery through Combination of Biosurfactant and Lipases Bacteria. *Journal of Applied Environmental and Biological Sciences*. ,5 (6), 83-87.
- Oesman, F., Murniana, Khairunnas, M., Saidi, N. 2010. Antifungal Activity of Alkaloid from Bark of *Cerbera odollam*. *Jurnal Natural*, (10), 2.
- Okop, I.J., Bassey, C. E. Okorie, F. S. 2013. Chemometric Determination Of Chemical And Physical Assortment Of Total Hydrocarbons Within Crude Oil Spilled Soil. *International Research Journal of Natural Sciences*, 1, 23-33.
- Pauli, F. W. 1967. *Soil Fertility*. London: Adam Hilger Ltd.,.
- Pemerintah Republik Indonesia. 2000. Peraturan Pemerintah No. 150 Tahun 2000 Tentang Pengendalian Kerusakan Tanah untuk Produksi Biomassa.
- Piccolo., A. 2001. The Supramolecular Structure of Humic Substances. *Journal Soil Sci*;166:810–32.
- Piccolo, A. 2002. The Supramolecular Structure of Humic Substances: a Novel Understanding of Humus Chemistry and Implications In Soil Science. *Adv Agron* ;75:57–134.
- Pine, S. 1998. *Kimia Organik*. Bandung: Terbitan Keempat. Penerbit ITB.
- Priadi, D., P. Lisdiyanti dan S. Ratnakomala. 2011. Produksi Pupuk Kompos Melalui Pemanfaatan Limbah Tumbuhan dan Hewan yang Dihasilkan oleh Kebun Plasma Nutfah Tumbuhan dan Hewan Cibinong. *Laporan Teknik Pusat Peneli-tian Bioteknologi LIPI*. Pusat Penelitian Bioteknologi LIPI. 87-106.
- Pruthi, V. Cameotra, S. S. 1997. Short Communication : Production of Biosurfactant Exhibiting Excellent Emulsification and Surface Active Properties by *Serratia marcescens*. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 13, 133-135.

- Quadri, G. Chen, X., Jawitz J.W., Tambone, F., Genevini, P., Faoro, F. 2008. Biobased Surfactantlike Molecules from Organic Wastes: The Effect Of Waste Composition And Composting Process On Surfactant Properties And On The Ability To Solubilize Tetrachloroethene (PCE). *Journal Environ Science Technology*, 42, 2618–23.
- Quagliotto, P.L. Montoneri, E. Tambone, F., Andani, F., Viscaridi, G. 2006. Chemical from Waste : Compost-Derived Humic Acid-Like Matter as Surfactant. *Environ Schi Technology*, 40, 86-92.
- Rahmanto, W.H., Hads, A. 2004. *Ipemisahan Asam Humat Tanah Gambut pada Kitin Cangkang Kepiting untuk Pengambilan Perak, Nikel, dan Krom dalam Limbah Cair*. Dokumetasi. Lembaga Penelitian Dikti .
- Rahmawati, S. 2003. *Karakterisasi Asam Humat dari Kompos Gambut dan Kompos Daun Karet*. Jurusan Tanah, Fakultas Pertanian, Institut Pertanian Bogor.
- Ratnawati, R., dan Trihadiningrum, Y. 2016. *Teknologi Pengomposan Limbah Padat Rumah Potong Hewan*. Surabaya: Jurusan Teknik Lingkungan, FTSP-ITS.
- Robert, M., Mercadé, M.E., Bosch, M. P., Parra, J. L., Espuny, M. J., Manresa, M. A. Guinea, J. 1989. Effect of The Carbon Source On Biosurfactant Production by *Pseudomonas aeruginosa* 44T1. *Biotechnology Letters* ,Volume 11, 871–874.
- Robinson, T. 1995. *Kandungan Organik Tumbuhan Tinggi*. Edisi ke-4 Terjemahan Kosasih Padmawinata. Bandung: ITB Press.
- Rowe, R.C., Sheskey, P.J., Quinn M., E. 2009. *Handbook of Pharmaceutical Excipients*. Lexi-Comp: American Pharmaceutical Association, Inc. Halaman 418-685.
- Rybinski, W. V. 2001. Editorial Overview : Natural Surfactant. *Journal of Current Opinion in Colloid and Interface Science*, 6, 146-147.
- Rynk, R., Kamp, M.V.D., Willson, G.B., Singley, M.E., Richard, M.L., Kolega, J.J., Gouin, F.R., Laliberty, L., Kay,D., Murphy, D.W., Hoitink, H.A.J., Brinton, W.F., 1992. *On-farm Composting Handbook*. Ithaca, NY : Coorporative Extention, Northeast Agricultural Engineering Service.
- Salati, S., Papa, G., Adani, F. 2011. Perspective on The Use of Humic Acids From Biomass as Natural Surfactant For Industrial Application. *Journal of Biotechnology Advance*, 29, 913-922.

- Sayara, T., Sarra, M., dan Sanchez, A. 2010. Effect of Compost Stability and Contaminant Concentration on The Bioremediation of PAHs-Contaminated Soil Through Composting. *Journal of Hazardous Materials*, 179, 999-1006.
- Sayara, T., Borrás, E., Caminal, G., Sarra, M., dan Sanchez, A. 2011. Bioremediation of PAHs-Contaminated Soil Through Composting: Influence of Bioaugmentation and Biostimulation on Contaminant Biodegradation. *International Biodeterioration and Biodegradation*, 65, 859-865.
- Savarino, P., Montoneri, E., Biasizzo, M., Quagliotto, P., Viscardi, G. and Boffa, V. 2007. Upgrading Biomass Wastes in Chemical Technology. Humic Acid-Like Matter Isolated from Compost as Chemical Auxiliary for Textile Dyeing. *Journal of Chemical Technology and Biotechnology*. 82:939–948.
- Scamehorn, J., Schechter, R., Wade, W.H. 1982. Adsorption of Surfactants on Mineral Oxide Surfaces from Aqueous Solutions: I: Isomerically Pure Anionic Surfactants. *J. Colloid Interface Sci* 85(2): 463-478. 28.
- Semple, K. T., Reid, B. J., dan Fermor, T. R. 2001. Impact of Composting Strategies on The Treatment of Soils Contaminated with Organic Pollutants. *Environmental Pollution*, 112, 269-289.
- Senesi, N., Loffredo E., 2000. *The Chemistry of Soil Organic Matter In: Sparks, L., (Ed.). Soil Physical Chemistry*. New York : CRC Press.
- Sheng, J.J. 2015. Status of Surfactant EOR Technology. *Petroleum* 1(2): 97-105.
- Silverstein, R.M., Webster, F., X., Kiemle, D.J. 2005. *Spectrofotometric Identification of Organic Compounds Seventh Edition*. Hoboken USA: John Wiley & Sonc, Inc.
- Simpson, A.J. 2002. Determining The Molecular Weight, Aggregation, Structures And Interactions of Natural Organic Matter Using Diffusion Ordered Spectroscopy. *Journal Magn.Reson Chem*;40 :72.
- Sinaga, B. P., dan Trihadiningrum, Y. 2015. *Remediasi Tanah Terkontaminasi Polycyclic Aromatic Hydrocarbon (PAH) dengan Penambahan Surfactant pada Metode Co-Composting*. Surabaya: Jurusan Teknik Lingkungan, FTSP-ITS.

- Stevenson, F. J. 1982. *Humus Chemistry: Genesis, Composition, Reaction*. New York : A Willey Interscience Publication Willey and Sons, Inc.
- Stevenson, F. J. 1994. *Humus Chemistry. 2nd Edition*. New York: John Wiley and Sons.
- Straub, K.L., Rainey, F. A., Widdel, F. 1999. *Rhodovulum iodosum* sp. Nov. and *Rhodovulum robiginosum* sp. Nov., Two New Marine Phototropic Ferrus-Iron-Oxidizing Purple Bacteria. *International Journal Synthesize Bacteriol*, 49, 729-735.
- Suharni. 2008. *Mikrobiologi Umum*. Yogyakarta: Universitas Atmajaya Yogyakarta.
- Suryani, A., I. Sailah dan E. Hambali. 2000. *Teknologi Emulsi*. Jurusan Teknologi Industri Pertanian. IPB, Bogor.
- Sutanto, R., 2002. *Penerapan Pertanian Organik*. Yogyakarta : Kanisius.
- Sutedjo, M. M., 2008. Pupuk dan Cara Pemupukan. Rineka Cipta. Jakarta. Sutedjo, M. M. 2002. *Pupuk Dan Cara Penggunaan*. Jakarta : Rineka Cipta.
- Sutton, R., Sposito, G. 2005. Molecular Structure in Soil Humic Substances: The New View. *Journal Environ Sci Technol*;39: 9009–15.
- Swift, R.S.1996. In *Methods of Soil Analysis. Part 3. Chemical Methods*; Sparks, D. L. ed.; Soil Science Society of America: Madison, USA p 1001.
- Syarfi, H.S., 2007. Rejeksi Zat Organik Air Gambut Dengan Membran Ultrafiltrasi, *Jurnal Sains dan Teknologi* 6 (1), Program Studi Teknik Kimia, Universitas Riau, Pekanbaru, h. 1-4.
- Tan, K.H. 1993. *Environmental Soil Science*. Marcel Dekker. Inc. New York.
- Tang, M., Suendo, V. 2011. Pengaruh Penambahan Pelarut Organik Terhadap Tegangan Permukaan Larutan Sabun. *Simposium Nasional Inovasi Pembelajaran dan Sains*. Institut Teknologi Bandung.
- Thapa, B., Kumar, K.C. A., and Ghimire, A. 2012 . A Review on Bioremediation of Petroleum Hydrocarbon Contaminants in Soil. *Kathmandu University Journal of Science, Engineering and Technology* 8(1).

- Tchobanoglous, G., Theisen, H., dan Vigil, S. A. 1993. *Integrated Solid Waste Management*. New York: McGraw-Hill.
- Trihadiningrum, Y. 2012. *Mikrobiologi Lingkungan*. Surabaya: ITS Press.
- Udiharto, M. 2005. *Pemanfaatan Bioreaktor untuk Penanggulangan Lumpur Berminyak*. Cepu: Yayasan Kesejahteraan Warga Migas.
- U.S. Environmental Protection Agency (US EPA). (1990). *Soil Screening Guidance: User's Guide Second Edition*. Washington, DC: Office of Emergency and Remedial Response U.S. Environmental Protection Agency.
- U.S. Environmental Protection Agency (US EPA). (2007). *SW-846, Test Methods for Evaluating Solid Waste, Physical/Chemical Methods, Chapter Four*. Cincinnati, OH: Author.
- Utami, S. N. H., Maas, A., Radjagukguk, B., Purwanto, B. H.. 2009. Sifat Fisik, Kimia dan FTIR Spektrofotometri Gambut Hidrofobik Kalimantan Tengah. *J. Tanah Trop.*, Vol. 14, No. 2, 2009: 159-166.
- Valat, B., Jouany, C and Riviere, L.M. 1991. Characterization of the Wetting Properties of Air-dried Peats and Composts. *Journal Soil Sci.* 152 (2): 100-107.
- Van Gestel, K., Mergaert, J., Swings, J., Coosemans, J., dan Ryckeboer J. 2003. Bioremediation of Diesel Oil-Contaminated Soil by Composting with Biowaste. *Environmental Pollution*, 125, 361-368.
- Wahyudin, U.M. 2006. Pengaruh Pemberian Kapur Dan Kompos Sisa Tanaman Terhadap Aluminium Dapat Ditukar Dan Produksi Tanaman Kedelai Pada Tanah Vertic Hapludult Dari Gajrug, Banten. *Buletin Agron.* 34:141-147.
- Wang, Z., Xu, Y., Zhao, J., Li, F., Gao, D., dan Xing, B. 2011. Remediation of Petroleum Contaminated Soil Through Composting and Rhizosphere Degradation. *Journal of Hazardous Materials*, 190, 677-685.
- Wershaw, R. L. 1993. Model for Humus in Soils and Sediments. *Journal of Environ Sci Technol*;27: 814–6.
- Wilson, M., Wilson, L., Patey, I. 2014. The Influence of Individual Clay Minerals on Formation Damage of Reservoir Sandstones: A Critical Review with Some New Insights. *Clay Minerals* 49(2): 147-164.

LAMPIRAN A PROSEDUR ANALISIS

A. Analisis Hidrokarbon (Metode Gravimetri dan Ekstraksi Soxhlet)

Peralatan:

1. Peralatan ekstraksi soxhlet, dengan labu ekstraksi 125 ml
2. Tabung ekstraksi
3. Pemanas elektrik
4. *Vacumn pump*
5. Peralatan filtrasi *vacuum*
6. *Buchner funnel*, 12 cm
7. Kertas saring, diameter 11 cm
8. Piringan kain kassa, diameter 11 cm
9. *Glass beads/ glass wool*
10. *Water bath*, mampu menahan 85°C
11. *Distilling adapter* dengan tetesan di ujung
12. *Ice bath*
13. Wadah siap pelarut
14. Desikator
15. Neraca analitik

Bahan:

1. Asam klorida, HCl 1+1
2. n-Heksana: kemurnian minimum 85%, isomer C6 jenuh minimum 99%, residu kurang dari 1 mg/L, didistilasi jika perlu
3. *Diatomaceous-silica filter aid suspension*, 10 g/L air terdistilasi

Langkah kerja analisis:

1. Labu destilasi kosong diambil dari dalam oven kemudian dimasukkan ke dalam desikator selama 15 menit lalu ditimbang dengan neraca analitik
2. Kertas saring kosong ditimbang dengan neraca analitik
3. Berat awal sampel ditimbang dengan neraca analitik, kemudian dicatat hasil penimbangannya (sampel + kertas saring)
4. Jika sampel belum diasidifikasi, diasidifikasi dengan 1:1 HCl atau 1:1 H₂SO₄ hingga pH mencapai 2 atau kurang (umumnya 5 ml sudah cukup)

5. Disiapkan filter yang terdiri dari piringan kain kasa dilapisi kertas saring
6. 100 ml *filter aid suspension* disaring melalui penyaring yang telah disiapkan dan cuci dengan 1 L air terdistilasi dengan menggunakan *vacuum*. Disaring hingga tidak ada air yang menetes
7. Sampel yang sudah diasidifikasi disaring dengan menggunakan *vacuum*. Disaring hingga tidak ada air yang menetes
8. Kertas saring hasil penyaringan sampel dilipat dan ditutup hingga rapat
9. Bagian samping dan bawah dari bejana pengumpul dan *Buchner funnel* dibersihkan dengan menggunakan kertas saring yang sudah direndam dalam pelarut ekstraksi
10. Sampel dan kertas saring ditimbang dengan neraca analitik
11. Kertas saring hasil penyaringan sampel dimasukkan ke dalam *extraction thimble*
12. *Thimble* yang sudah terisi dikeringkan ke dalam oven bersuhu 103°C selama 30 menit
13. Labu destilasi kosong diisi dengan 100 ml pelarut ekstraksi (n-Heksana)
14. Peralatan ekstraksi *soxhlet* dirangkai
15. Minyak diekstraksi pada peralatan *soxhlet* pada *rate* 20 putaran/jam selama 4 jam. Waktu diukur dari putaran pertama
16. Ekstraksi dihentikan, dilanjutkan dengan distilasi pada *water bath* dengan suhu 85°C untuk memisahkan pelarut. Hasil ekstraksi maupun distilasi ditampung
17. Labu destilasi didinginkan dalam desikator hingga diperoleh berat konstan
18. Labu ekstraksi ditimbang menggunakan neraca analitik
19. Dihitung kandungan hidrokarbon (%) dengan rumus:

$$\text{Kandungan hidrokarbon (\%)} = \frac{\text{berat residu (hidrokarbon)}}{\text{berat sampel}} \times 100\%$$

B. Metode Ekstraksi *cHAL*

Ekstraksi *cHAL* dilakukan berdasarkan prosedur menurut Barje *et al.* (2012) dan Kulikowska *et al.* (2015) sebagai berikut.

Alat :

- Labu Erlenmeyer
- Shaker
- Centrifuge

Bahan :

- 15 gram sampel
- Chloroform Merck EMSURE® ACS,ISO,Reag. Ph Eur (99%)
- Methanol
- NaOH ()
- HCl
- Aquades

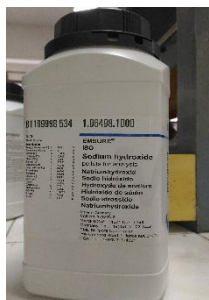
Pembuatan Reagen :

A. Chloroform/Methanol (2:1)

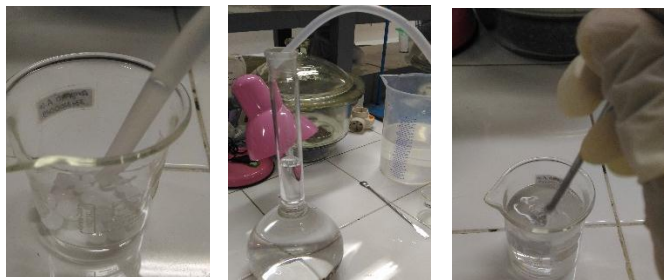
1. Chloroform sebanyak 600 mL disiapkan pada labu pengencer 1000 mL.
2. Diukur methanol sebanyak 300 mL dengan gelas ukur kemudian dimasukkan pada labu pengencer.
3. Larutan campuran antara chloroform dan methanol dihomogenkan lalu dimasukkan pada botol kaca berlabel lengkap.

B. NaOH 0,1 M

1. Butiran NaOH ditimbang sebanyak 4 gram lalu dimasukkan pada labu pengencer 1000 mL.



2. Aquades ditambahkan pada labu pengencer hingga pada batas pengenceran 1000 mL kemudian dihomogenkan.



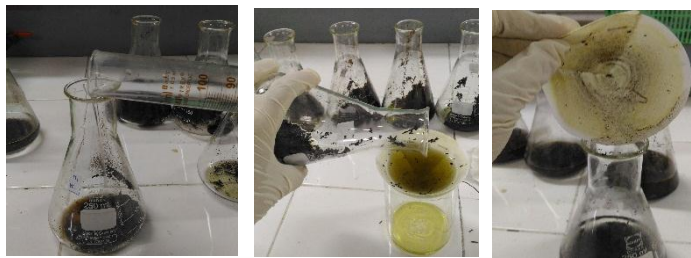
3. Reagen NaOH 0,1 N dimasukkan pada botol reagen berbahan kaca dan berlabel.

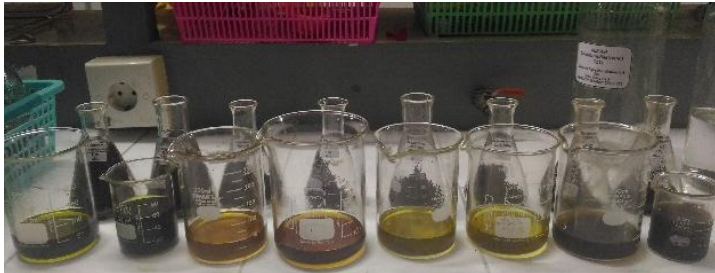
C. HCl 6 N

1. Larutan HCl 12 N diambil dengan pipet ukur sebanyak 50 mL dan dimasukkan pada labu pengencer 100 mL.
2. Larutan HCl ditambahkan aquades hingga batas pengenceran.
3. Labu pengencer ditutup dan larutan dihomogenkan.
4. Larutan HCl 6 N dituang pada botol kaca dan diberi label lengkap.

Langkah kerja analisis :

1. 15 gram sampel dihilangkan kandungan lemaknya dengan menggunakan 120 mL chloroform/methanol (2:1). Perlakuan ini diulang sebanyak 3 kali agar ekstrak sampel bersih.
2. Dilakukan filtrasi pada sampel dengan kertas saring Whatman 42. Setelah filtrasi, residu sampel diangin-anginkan supaya kering untuk mengurangi *solvent* (pelarut).





3. Sampel diekstrak dengan 60 mL akuades untuk menghilangkan molekul organik sederhana yang larut di air seperti gula, protein, dan lain-lain.



4. Sampel dikocok dengan *shaker* kecepatan 120 rpm selama 2 jam, kemudian di-*centrifuge* selama 25 menit pada kecepatan 2000 rpm sehingga terbentuk supernatan. Langkah ini diulang selama 3 kali dan supernatan menyatu dan menunjukkan level dari total karbon terlarut.



5. Langkah yang sama untuk diaplikasikan pada ekstraksi substrak humat akan tetapi digunakan 0,1 M NaOH sebagai pengganti air, dengan pengulangan ekstraksi sebanyak 3 kali dan pada ekstraksi ketiga telah bersih.



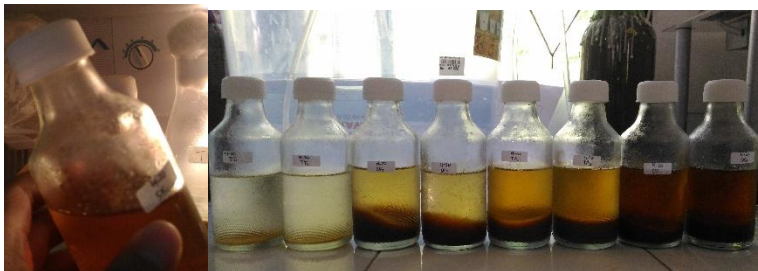
6. Didapatkan larutan *humic substance* yang terdiri atas asam humat dan fraksi fulvat.



7. Larutan *humic substance* hasil ekstraksi ditambahkan larutan HCl 6 N hingga pH mencapai 1. Pada pH ini, asam humat akan mengendap membentuk presipitat, sedangkan asam fulvat akan tetap terlarut.



8. Setelah itu presipitat dibiarkan hingga seimbang selama 24 jam pada suhu 4°C.



9. Lalu presipitat dicentrifugasi dan didekantasi dengan kecepatan 2000 rpm selama 25 menit untuk menghasilkan endapan humat fraksi 2000.



10. Presipitat atau asam humat dilarutkan kembali dengan 0,1 M NaOH, dan diletakkan pada wadah kaca. Sampel asam humat ini digunakan untuk analisis karakterisasi dan *soil washing*.
11. Asam fulvat dapat dihitung dari konsentrasi asam humat dalam *humic substance*.

C. Uji Tegangan Permukaan

Menurut ASTM (2000), analisis tegangan permukaan menggunakan alat Tensiometer Du-Nouy dapat dilakukan dengan cara sebagai berikut.

Alat:

- Tensiometer *Du-Nouy*

Bahan :

- Ekstrak cHAL

Langkah kerja analisis :

1. Siapkan alat Tensiometer *Du-Nouy*.



2. Letakkan cincin bersih pada lengan pengungkit.
3. Letakkan cairan yang diukur pada cawan petri atau beker glass yang berdiameter tidak kurang dari 4,5 cm yang bebas lemak.
4. Letakkan wadah pada meja sampel, dengan cincin berada 5 mm dari permukaan cairan.
5. Atur jarum penyeimbang hingga tepat berada pada angka nol.



6. Putar skrup sambil jarum dijaga tetap pada posisi nol.
7. Teruskan pemutaran skrup sampai film pecah dan cincin terlepas.
8. Skala yang terbaca dan dicatat.
9. Menghitung nilai tegangan permukaan sampel dengan rumus :

$$r = \frac{\theta}{\theta_0} \times r_0$$

r = tegangan permukaan sampel

θ = tegangan permukaan aquades pada suhu $t^{\circ}\text{C}$

- θ_0 = skala hasil pengukuran sampel
 r_0 = skala hasil pengukuran aquades

D. Uji Kemampuan Emulsifikasi

Menurut Pruthi dan Cameotra (1997), analisis kemampuan emulsifikasi dapat dilakukan dengan cara berikut ini.

Alat:

- *Vortex mixer*
- Tabung reaksi

Bahan :

- Ekstrak cHAL
- *Kerosin*

Langkah kerja analisis:

1. Sebanyak 2 mL sampel cHAL dimasukkan pada tabung reaksi.
2. Ditambahkan 2 mL kerosin.



3. Diaduk dengan *vortex mixer* dengan selama 2 menit.
4. Diukur ketinggian emulsi setelah 1 jam dan 24 jam.



5. Dihitung persentase emulsifikasi (AE) dalam persentase (%) dengan rumus :

$$\% \text{ Emulsifikasi} = \frac{\text{tinggi emulsi}}{\text{tinggi total cairan}} \times 100\%$$

E. Uji Kelarutan Hidrokarbon oleh *Surfactant* Melalui *Soil Washing* (Metode Agitasi Rotary Agitator)

Menurut Hadrah (2015), *Soil washing* terhadap tanah liat berpasir tercemar *crude oil* dapat dilakukan dengan mekanisme berikut ini.

Peralatan :

- Wadah botol berbahan kaca atau plastik HDPE
- *Rotary Agitator*
- *Beaker glass*
- Centrifuge
- Pipet ukur

Bahan :

- Tanah Terkontaminasi *crude oil* (lumpur minyak)
- cHAL
- Tween 80

Langkah Kerja :

1. Tanah terkontaminasi diambil kurang lebih sebanyak 18 gram, lalu diaduk (dihomogenkan). Sampel dibagi menjadi 3 masing-masing 6 gram untuk analisis kandungan hidrokarbon awal (sebelum *soil washing*) dan untuk proses *soil washing* satu sumber *surfactant*.



2. *Surfactant* dengan volume 60 mL dimasukkan pada botol kaca yang telah berisi sampel tanah tercemar (6 gram). Hal ini sesuai dengan rasio massa tanah:volume *surfactant* sebesar 1:10.

3. Botol kaca berisi campuran sampel *soil washing* dimasukkan pada wadah agitasi dan dipasang pada alat *rotary agitator* untuk diagitasi dengan kecepatan 200rpm selama 20 jam.



4. Setelah *soil washing* sampel didiamkan selama 24 jam untuk stabilisasi sampel hasil *soil washing*. Lalu dipisahkan fase padat dan *liquid*-nya dengan centrifugasi pada kecepatan 2000 rpm selama 20 menit dan melalui proses dekantasi serta filtrasi.
5. Sampel tanah (endapan) dianalisis kandungan hidrokarbon akhirnya dengan menggunakan metode ekstraksi dan gravimetri.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

LAMPIRAN B
DATA HASIL ANALISIS

A. Tabel 1 pH sebelum Pengasaman Sampel

No	Sampel	Hari ke-	pH awal	pH akhir
1	TT	0	12,65	1
2		20	12,6	1
3		40	12,68	1
4		60	12,63	1
5	SR	0	12,18	1
6		20	12,08	1
7		40	12,12	1
8		60	12,1	1
9	SK	0	12,24	1
10		20	12,2	1
11		40	12,21	1
12		60	12,2	1
13	T/S	0	12,28	1
14		20	12,26	1
15		40	12,23	1
16		60	12,24	1

B. Tabel 2. Kadar cHAL

Reaktor 1			Kandungan cHAL					
No	Sampel	Hari ke-	Massa Cawan Kosong (B0)	Massa Kertas Saring	Massa Cawan Output Oven	Massa Asam Humat	Massa Asam Humat/gram Sampel	
							gram	%
1	TT	0	21,0488	0,1277	21,1788	0,0023	0,00276	0,276
2		20	29,4916	0,1325	29,6266	0,0025	0,003	0,3
3		40	23,9042	0,1326	24,0416	0,0048	0,00576	0,576
4		60	30,2933	0,1597	30,458	0,005	0,006	0,6
5	SR	0	29,2359	0,1305	29,3735	0,0071	0,00852	0,852
6		20	34,12	0,1318	34,2604	0,0086	0,01032	1,032
7		40	24,5619	0,1312	24,7014	0,0083	0,00996	0,996
8		60	34,8905	0,1676	35,0665	0,0084	0,01008	1,008

Reaktor 1			Kandungan cHAL					
No	Sampel	Hari ke-	Massa Cawan Kosong (B0)	Massa Kertas Saring	Massa Cawan Output Oven	Massa Asam Humat	Massa Asam Humat/gram Sampel	
							gram	%
9	SK	0	35,7534	0,1503	35,9123	0,0086	0,01032	1,032
10		20	29,6302	0,1319	29,7705	0,0084	0,01008	1,008
11		40	34,4483	0,1318	34,5892	0,0091	0,01092	1,092
12		60	34,4483	0,1315	34,5885	0,0087	0,01044	1,044
13	T/S	0	30,1545	0,1304	30,2904	0,0055	0,0066	0,66
14		20	35,0791	0,1321	35,2191	0,0079	0,00948	0,948
15		40	34,7953	0,1311	34,9354	0,009	0,0108	1,08
16		60	34,7953	0,1316	34,9359	0,009	0,0108	1,08

C. Tabel 2 Tegangan Permukaan cHAL

Sampel 1			Tegangan Permukaan (dyne/cm)
No	Sampel	Hari ke-	
1	TT	0	61,3
2		20	60,4
3		40	58,5
4		60	65,7
5	SR	0	53,7
6		20	58,5
7		40	50,5
8		60	50,4
9	SK	0	61,7
10		20	57,6
11		40	52,3
12		60	54,8
13	T/S	0	65,5
14		20	65,4
15		40	51,7
16		60	62,5

Sampel 2			Tegangan Permukaan (dyne/cm)
No	Sampel	Hari ke-	
1	TT	0	58,5
2		20	61,9
3		40	55,6
4		60	63,1
5	SR	0	55
6		20	58,7
7		40	50,6
8		60	50,7
9	SK	0	56,7
10		20	55,4
11		40	53,1
12		60	48,6
13	T/S	0	67,3
14		20	65,7
15		40	51,1
16		60	62,5

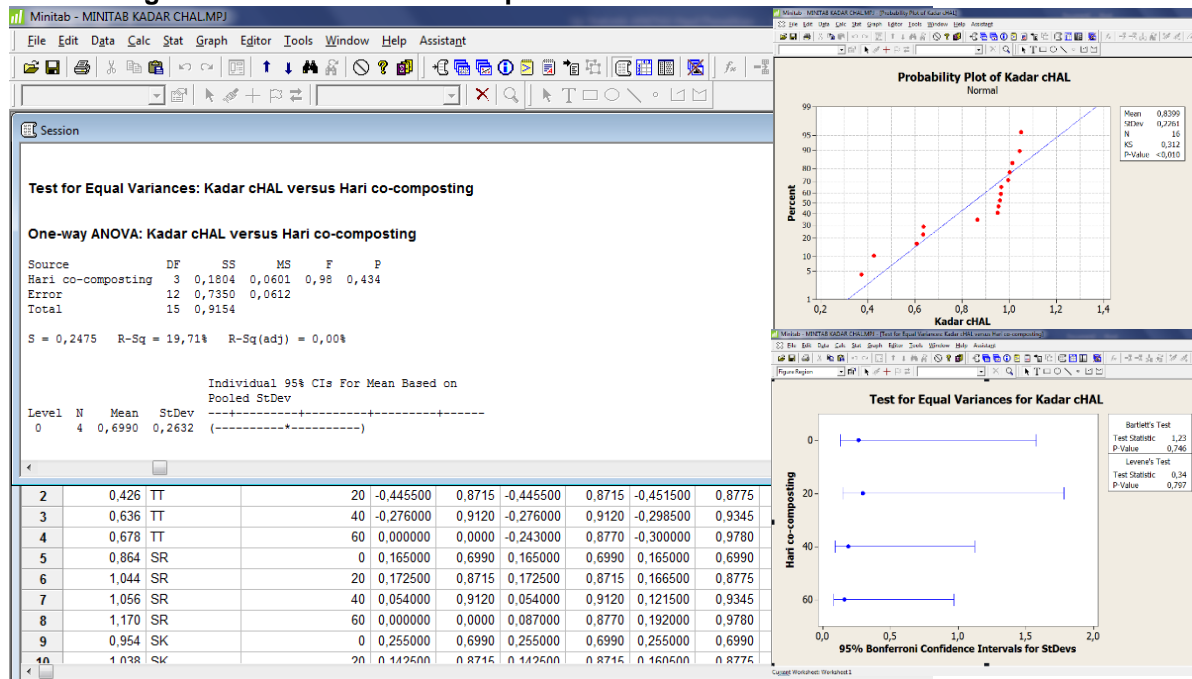
D. Tabel 3 Aktivitas Emulsi cHAL

Sampel 1			Aktivitas Emulsi (%)	
No	Sampel	Hari ke-	1 Jam	24 Jam
1	TT	0	0,0	0,0
2		20	0,0	0,0
3		40	14,9	1,9
4		60	25,1	6,2
5	SR	0	11,7	8,8
6		20	36,4	23,3
7		40	48,5	37
8		60	46,1	41,3
9	SK	0	11,7	7,2
10		20	35,4	17,4
11		40	11,3	10,6
12		60	32	5,7
13	T/S	0	36,5	20,8
14		20	12,6	12,2
15		40	14,9	1,9
16		60	38,7	22

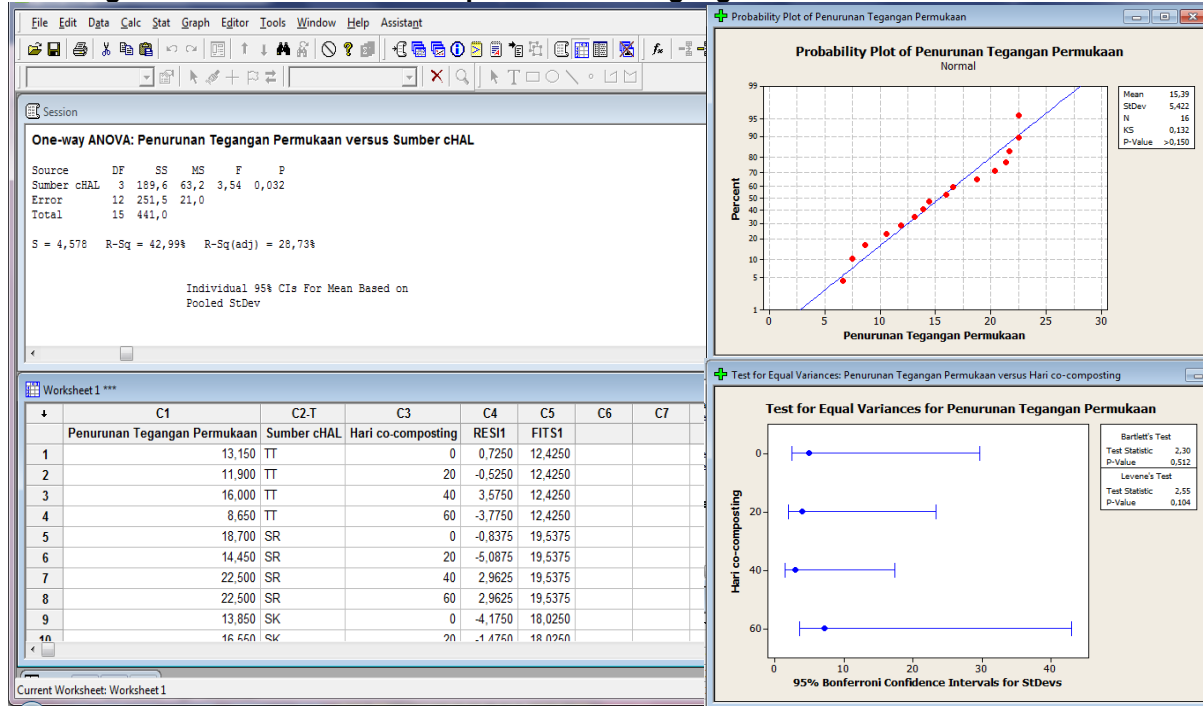
Sampel 2			Aktivitas Emulsi (%)	
No	Sampel	Hari ke-	1 Jam	24 Jam
1	TT	0	0,0	0,0
2		20	0,0	0,0
3		40	18,7	13,5
4		60	23,7	6,3
5	SR	0	12,6	10,6
6		20	44,6	36,2
7		40	45,5	39,1
8		60	41,7	34,6
9	SK	0	26,6	7,5
10		20	32	9,4
11		40	26,9	13,9
12		60	29,3	7,4
13	T/S	0	20,8	10,4
14		20	32,4	26,4
15		40	18,7	13,5
16		60	33,3	16,7

E. Uji Statistik

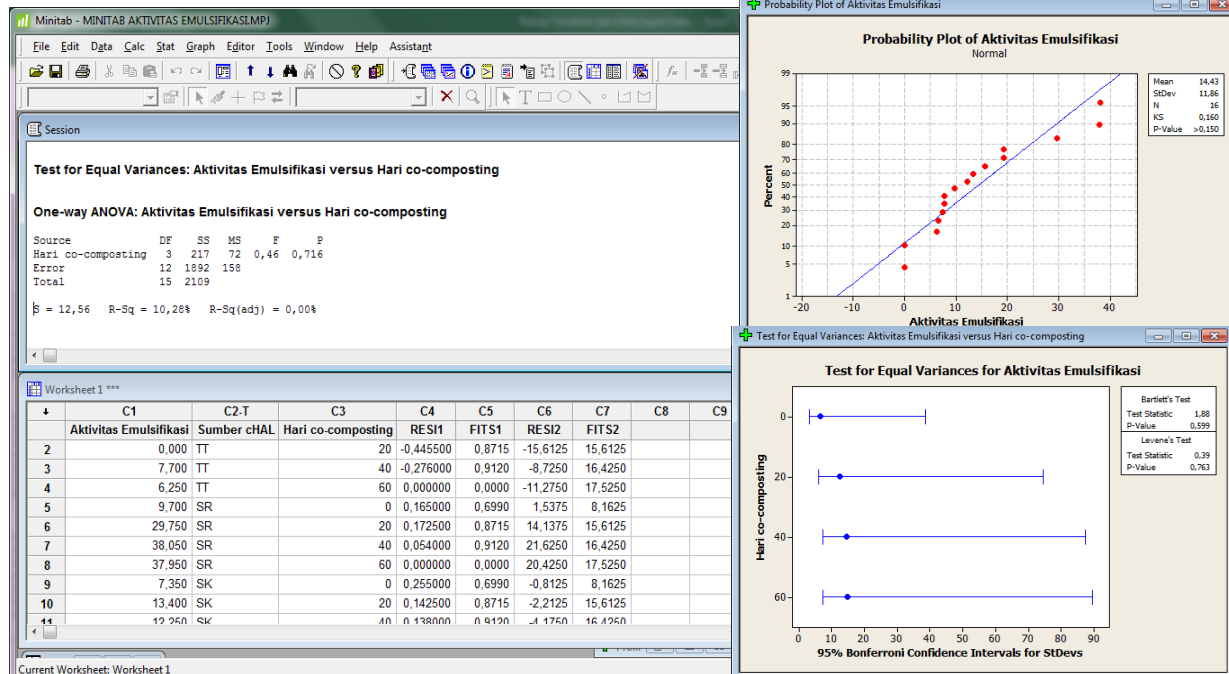
1. Pengaruh Sumber cHAL terhadap Kadar cHAL



2. Pengaruh Sumber cHAL terhadap Penurunan Tegangan Permukaan

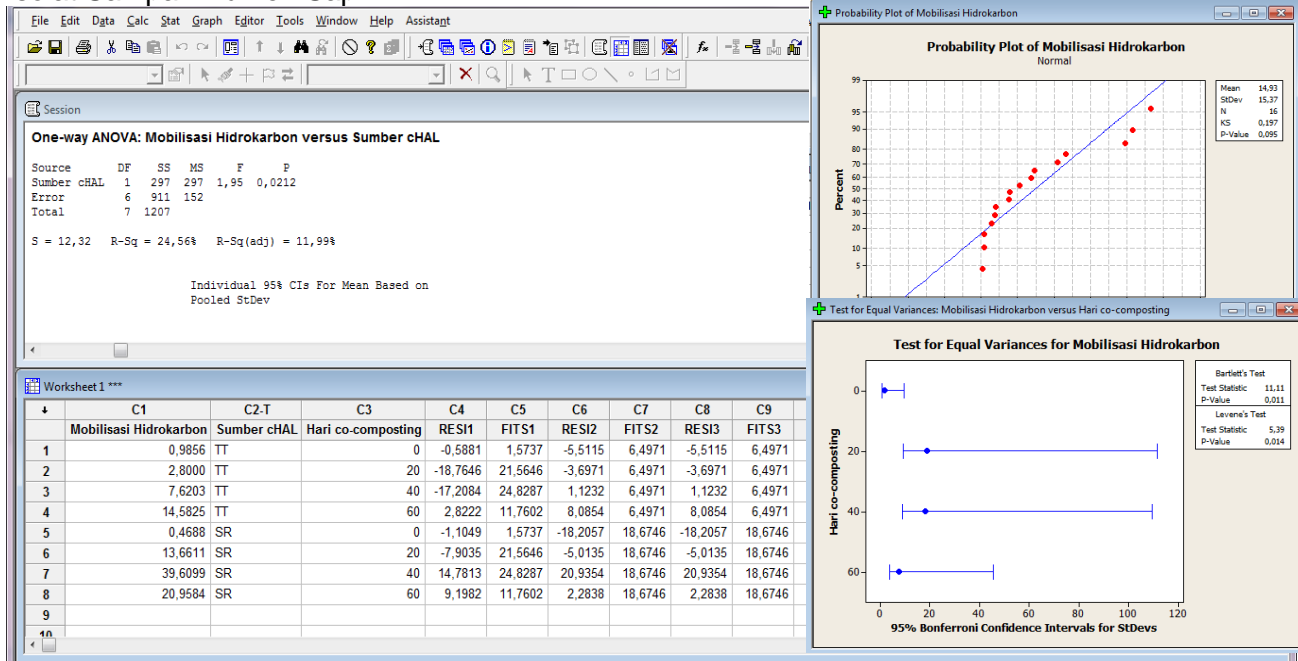


3. Pengaruh Sumber cHAL terhadap Kemampuan Emulsifikasi

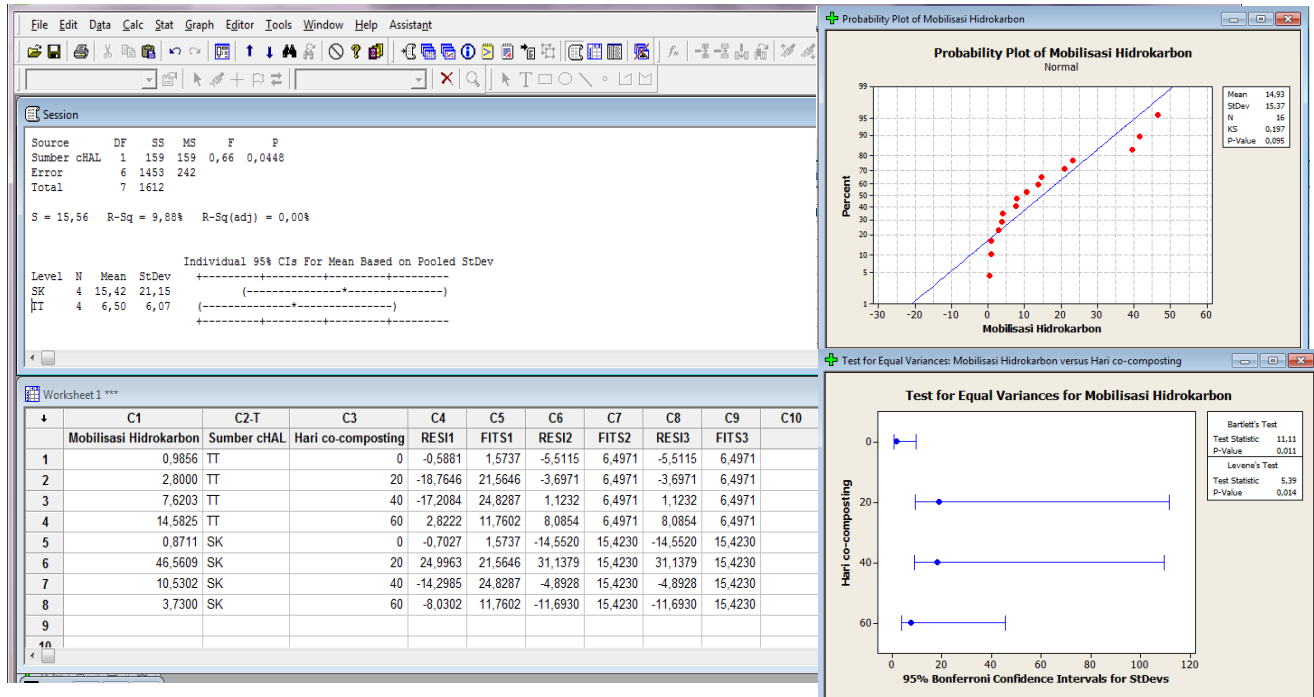


4. Pengaruh Sumber cHAL terhadap Pemisahan Hidrokarbon

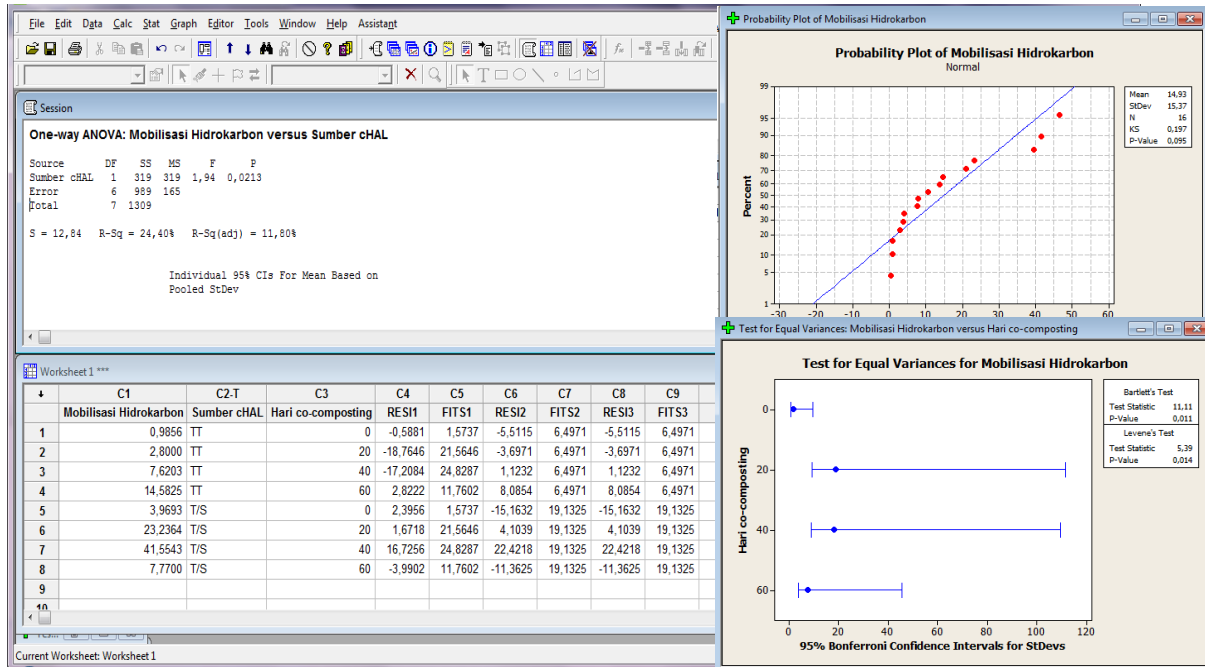
- Isolat Sampah Rumen Sapi



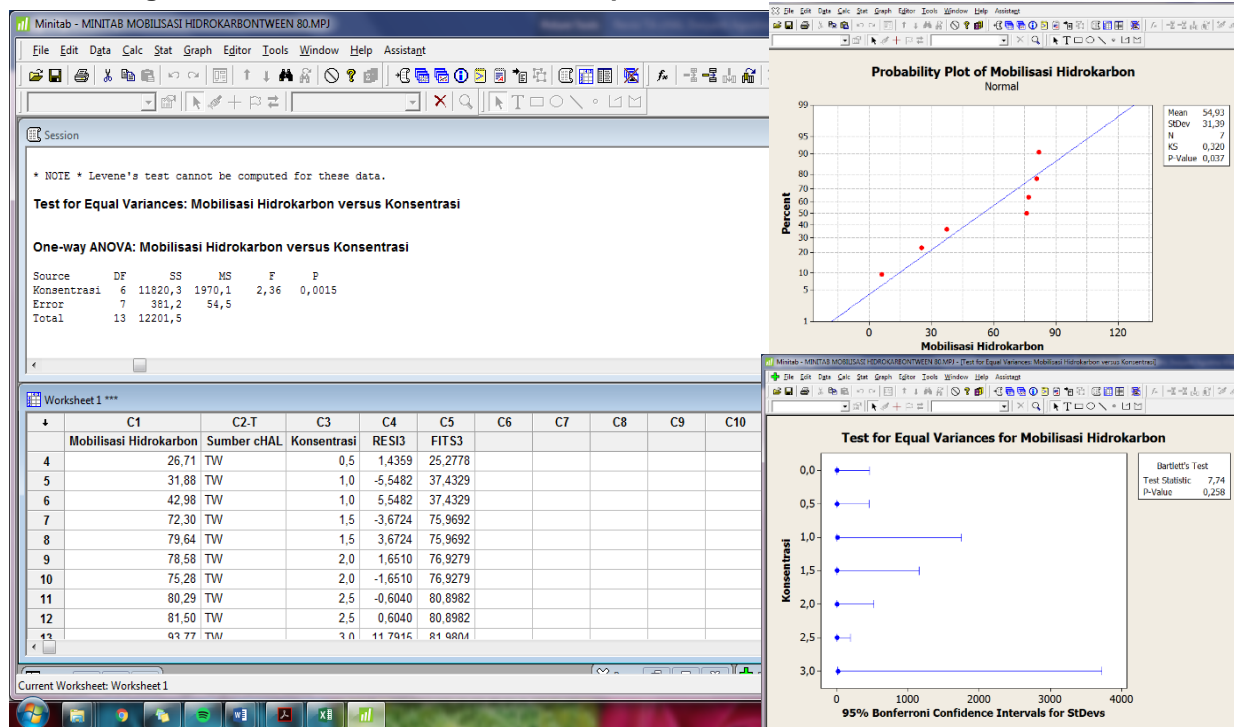
- Isolat Sampah Kebun



- Isolat cHAL Ratio 50:50 Sampah dan Tanah Tercemar



5. Pengaruh Konsentrasi Tween 80 terhadap Pemisahan Hidrokarbon

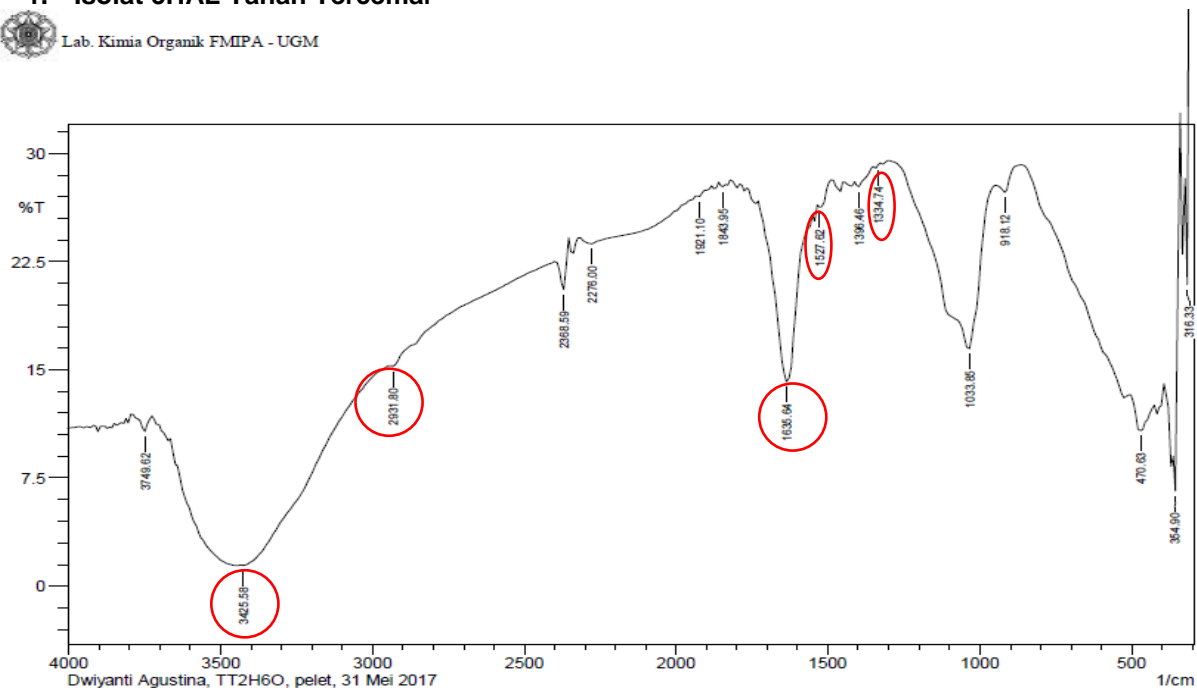


F. Gambar Grafik Hasil Analisis FTIR Sampel cHAL

1. Isolat cHAL Tanah Tercemar



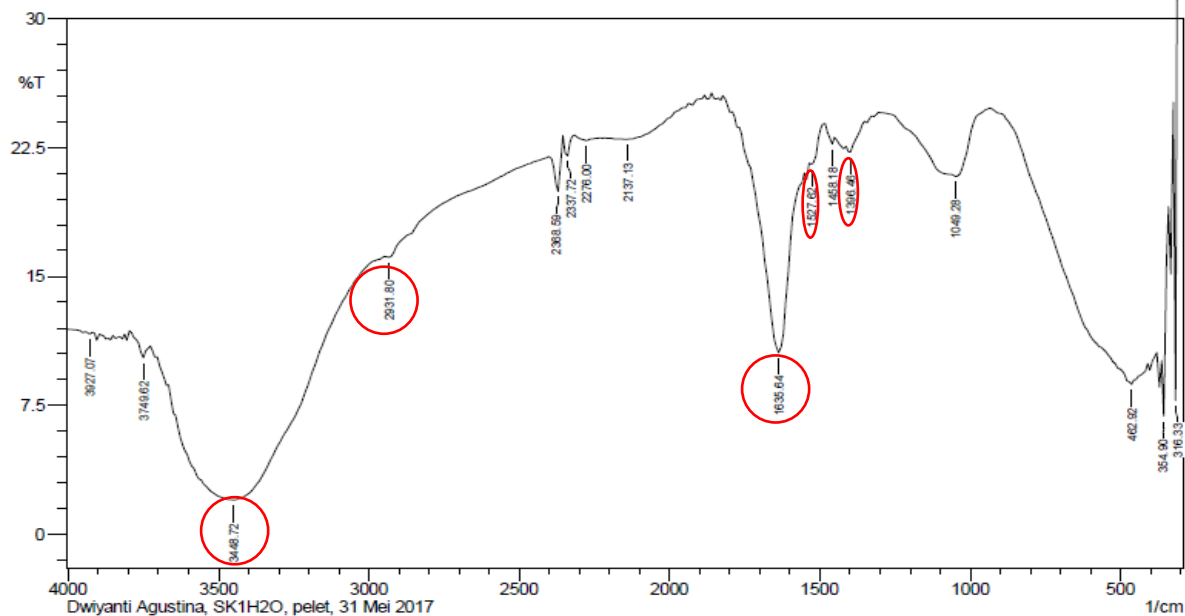
Lab. Kimia Organik FMIPA - UGM



2. Isolat cHAL Sampah Kebun



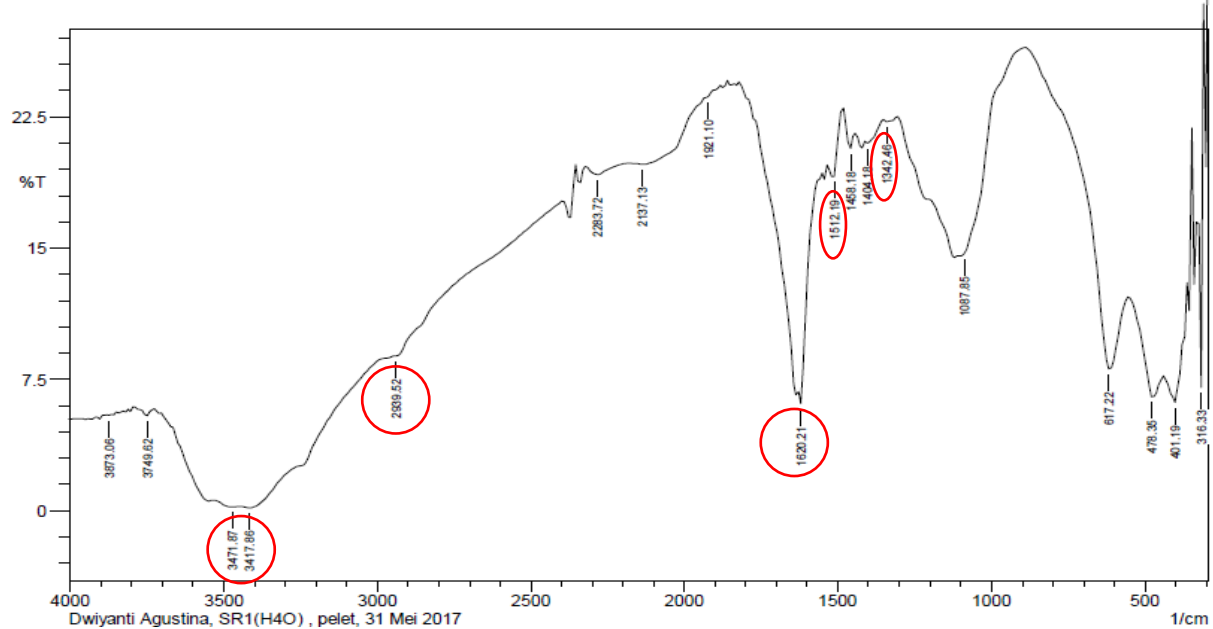
Lab. Kimia Organik FMIPA - UGM



3. Isolat cHAL Sampah Rumen Sapi



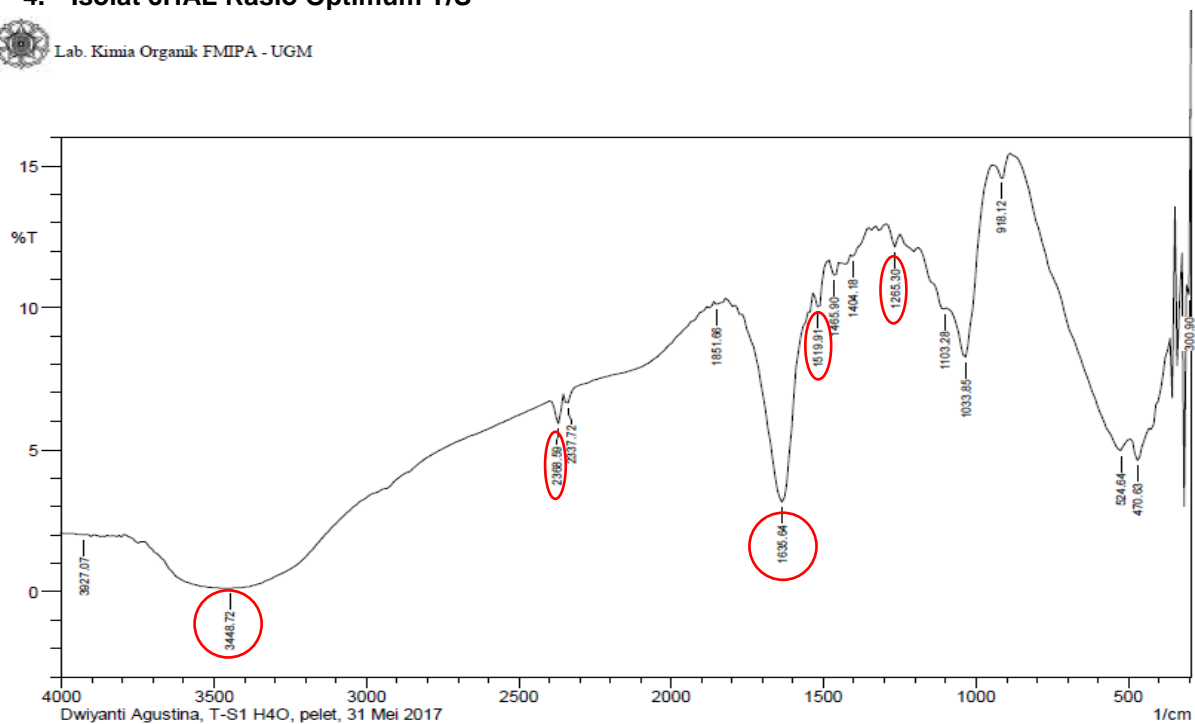
Lab. Kimia Organik FMIPA - UGM



4. Isolat cHAL Rasio Optimum T/S



Lab. Kimia Organik FMIPA - UGM



LAMPIRAN C
SPESIFIKASI PRODUK TWEEN 80

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

LAMPIRAN D DOKUMENTASI PENELITIAN



Gambar 1 Lokasi Pertambangan



Gambar 2 Sumur Pengeboran



Gambar 3 Kilang Minyak



Gambar 4 Tanah Sekitar
Pertambangan



Gambar 4 Tanah Sekitar
Pertambangan



Gambar 5 Pengambilan Sampel
Tanah



Gambar 6 Pewadahan Sampel



Gambar 9 Pengukuran pH Tanah



Gambar 7 Pengkompositan Sampel Tanah



Gambar 8 Pengayakan Sampel Tanah

BIODATA PENULIS



Dwiyanti Agustina Wulandari, lahir di Semarang pada 30 Agustus 1995 sebagai anak kedua dari Bapak Zamjuri dan Ibu Siti Asiyah. Penulis menempuh pendidikan di SDN Sukoharjo 1 (2001-2007), SMP N 1 Salatiga (2007-2010), dan SMA N 1 Salatiga (2010-2013). Penulis melanjutkan jenjang pendidikan perguruan tinggi di program S1 Teknik Lingkungan Institut Teknologi Sepuluh Nopember melalui jalur SNMPTN pada tahun 2013 dengan tercatat sebagai mahasiswa dengan NRP. 3313100029.

Semasa perkuliahan penulis aktif mengikuti kegiatan kampus baik akademis maupun non akademis di ITS. Dalam kegiatan akademik penulis aktif menjadi asisten laboratorium. Dalam bidang non akademik, penulis aktif sebagai anggota KPPL HMTL FTSP dan pemandu LKMM FTSP. Di lingkungan organisasi HMTL FTSP ITS penulis sebagai staf Departemen Pemberdayaan Sumber Daya Mahasiswa (2014-2015 dan 2015-2016). Penulis juga diamanahi sebagai Sekertaris Umum Badan Koordinasi Pemandu FTSP-ITS (2015-2016). Selain itu penulis juga aktif sebagai peserta pelatihan meliputi Latihan Keterampilan Manajemen Mahasiswa (LKMM) Tingkat Pra Dasar, Tingkat Dasar dan Pelatihan Pemandu. Di luar kampus penulis mengikuti kegiatan Youth Media Festival pada tahun 2015. Penulis pernah melakukan internship di PT Jakarta Industrial Estate Pulogadung (JIEP) dengan *project* penyusunan konsep pengelolaan sampah sejenis sampah rumah tangga terpadu dan terintegrasi di Kawasan Industri Pulogadung. Segala bentuk komunikasi yang ingin dilakukan terkait tugas akhir ini dapat melalui email: dwiyantiagustina30@gmail.com

“Halaman ini sengaja dikosongkan”